



Conservatoire National des Arts et Métiers

Université René Descartes Paris 5

Université Victor Segalen Bordeaux 2

Université Paris 8

MASTER EN SCIENCES DU TRAVAIL ET DE LA SOCIÉTÉ

Mention

ERGONOMIE

Spécialité : RECHERCHE

Extension et modulation des usages des outils médiateurs en
design industriel.

Impact sur les processus de conception.

Catherine Elsen.

06 octobre 2009.

Tuteur

Françoise Darses.

TABLE DES MATIERES

Partie I - Contextes	1
1. Introduction	1
2. Contextes	1
2.1. Design ?	1
2.2. Design industriel : objectifs et contraintes	2
2.3. Enjeux et défis du design industriel	4
2.4. La Conception Assistée par Ordinateur : 20 ans de recherche, de nombreux défis	5
3. Intérêt de la question posée pour l'ergonomie	6
4. Etat de l'art	8
4.1. La théorie de l'activité comme référentiel d'étude théorique	8
4.1.1. Le sujet - le concepteur en design industriel	9
4.1.2. L'objet (de l'activité) - la conception d'un produit industriel	9
4.1.3. L'artefact médiateur - l'outil, la représentation	9
4.1.4. La notion sociale et située du triangle de l'activité	9
4.2. Processus cognitifs en conception	10
4.2.1. L'approche heuristique	11
4.2.2. Processus référentiels	11
4.2.3. Transformation des représentations sur divers niveaux d'abstraction	11
4.2.4. Autres caractéristiques du processus de conception	11
4.3. Modèles de Processus cognitifs	12
4.3.1. Les théories des fondateurs - Symbolic Information Processing vs. Approche Située	13
4.3.2. Modèles prescriptifs et descriptifs	14
4.3.3. Modèles procéduraux (en étapes)	14
4.3.4. Exemples	15
4.3.5. La conception vue comme une construction de représentations	17
4.4. Méthodologies et modes opératoires en conception	18
4.5. La conception collaborative	19
4.6. La médiation de l'activité par l'usage des artefacts	21
4.7. Les représentations artefactuelles externes	23
4.8. Les outils médiateurs	25
4.8.1. Les outils "traditionnels" : dessin papier/crayon, maquettes, prototypes	25
4.8.2. Les outils de Conception Assistée par Ordinateur	27
4.9. Méthodologies ergonomiques d'analyse de situation de conception	30
5. Axe de recherche - Problématique	31
Partie II - Etude exploratoire	32

6. Etude exploratoire	32
6.1. Objectifs	32
6.2. Terrain	32
6.3. Méthodologie	32
6.3.1. Population	32
6.3.2. Méthode	33
6.3.3. Passation	34
6.4. Traitement des données recueillies	34
6.5. Résultats intermédiaires	35
6.5.1. Résultats en terme de processus de conception	36
6.5.2. Résultats en terme de relation avec la CAO	37
6.5.3. Résultats en terme de relation avec le dessin	38
7. Construction des hypothèses	41
7.1. Sélection du profil, du type de projet et des contextes	42
7.2. Sélection du terrain de l'étude approfondie.	43
Partie III - Etude approfondie	44
8. Etude approfondie en milieu industriel	44
8.1. Objectifs	44
8.2. Terrain	44
8.2.1. Le milieu industriel	44
8.2.2. Le contexte de l'intervention - la demande	44
8.2.3. L'objet de la conception	48
8.3. Méthodologie	49
8.3.1. Opérateurs et outils médiateurs	49
8.3.2. Méthode de recueil des données	51
8.4. Opérationnalisation des hypothèses	54
8.5. Traitement des données	56
8.5.1. Traitement des entretiens, analyses rétrospectives et observations	56
8.5.2. Traitement des observations instantanées	69
8.6. Résultats intermédiaires	70
9. Résultats et Discussion	75
9.1. Hypothèse 1 : la Non Dichotomie	75
9.1.1. Test de l'hypothèse	75
9.1.2. Graphes d'activité	75
9.1.3. Usages des outils médiateurs	83
9.1.4. Apports respectifs des outils médiateurs	85

9.1.5. Adéquation des outils avec les représentations internes	93
9.1.6. Autres caractéristiques des outils médiateurs	93
9.2. Hypothèse 2 : influence des modalités de la collaboration sur les outils médiateurs	94
9.2.1. Graphe des relations collaboratives	94
9.2.2. Influence de la modalité de la collaboration sur les représentations	97
9.2.3. Influence des outils sur la répartition des tâches	99
9.2.4. Nécessité de la multimodalité	100
Partie IV - Conclusions, limites et perspectives	101
10. Les apports de la recherche - La compréhension ergonomique des métiers de la conception en design industriel	101
10.1. Extension et modulation des usages des outils médiateurs en design industriel	101
10.2. La réponse à la demande initiale dès les phases de la pré-conception	102
11. Limites	103
12. Perspectives	104
12.1. Pour la recherche en ergonomie	104
12.2. Pour la suite des travaux de recherche (courte présentation de la thèse entamée)	104
RESUME	106
TABLE DES ANNEXES : VOIR VOLUME II.	

TABLE DES FIGURES ET TABLEAUX.

Fig 1 - “Eléments de design industriel”, Danielle Quarante, p. 119.	3
Fig 2 - “Summary innovation performance EU Member States (2008)”, extrait du rapport annuel “European Survey Innovation 2008”, de UNU-MERIT, Maastricht Economic and social Research and training centre on Innovation and Technology.	4
Fig 3 - “Eléments de design industriel”, Danielle Quarante, p 456.	4
Fig 4 - Source : Edti european design training incubator Internet Surveys - sept.2009	5
Fig 5 - Extrait du rapport annuel “European Survey Innovation 2008”, de UNU-MERIT, Maastricht Economic and social Research and training centre on Innovation and Technology.	7
Fig 6 - Le triangle de l’activité - Théorie de l’activité - Ecole Russe (Léontiev, Vygotski)	8
Fig 7 - Intégration des aspects socio-économiques et organisationnels, triangle de l’activité (Engeström)	9
Fig 8 - Extraite du livre “Introducing to engineering design”, Andrew Samuel et John Weir, p. 293.	16
Fig 9 - Modèles itératifs du processus de conception, Blessing, 1995.	17
Fig 10 - Barthe et Quéinnec - Composantes collectives des tâches dans un groupe d’opérateurs, formes de l’activité mise en place et conséquences sur les opérateurs, la performance et le groupe. (Barthe et Quéinnec, 1999, p 681).	21
Fig 11 - Modèle SAI, “Situations d’activités instrumentées”, Rabardel.	22
Fig 12 - Hypothèse de Non Dichotomie	41
Fig 13 - Définition des profils.	42
Fig 14 - Arbre hiérarchique de l’entreprise avant 2006.	45
Fig 15 - Arbre hiérarchique actuel de l’entreprise.	45
Fig 16 - Agenda théorique de conception	47
Fig 17 - Arbre hiérarchique futur.	47
Fig 18 - Le produit “30 compact” mis en test au feu.	49
Fig 19 - Capture d’écran du logiciel “Pro-Engineer”®.	51
Fig 20 - Vue en coupe du registre d’air.	53
Fig 21 - Exemple d’une ligne du temps hypothétique.	55
Fig 22 - un des premiers croquis du triptyque.	56
Fig 23 - photos annotées pour la construction du Cahier des Charges.	57
Fig 24 - un exemple de noeud technique : roulement à bille pour la rotation des portes. On observe que le travail de conception se fait sur base d’un fond de plan imprimé, obtenu automatiquement de la modélisation 3D Pro-E.	59
Fig 25 - un exemple de noeud technique avec développement formel : définition de la main froide pour l’ouverture du poêle.	59
Fig 26 - un fond de plan imprimé plusieurs fois et quelques coups de marqueur suffisent à évaluer une proposition formelle et/ou technique. Ici, la forme de l’interface entre tambour et portes coulissantes.	60
Fig 27 - retour vers le croquis conceptuel, suite au test formel de plusieurs solutions pour l’interface “tambour/portes coulissantes”.	60
Fig 28 - dessin technique fourni à JM pour modélisation.	60
Fig 29 - quelques variations dessinées sur le thème du “bouchon”.	62
Fig 30 - dessin en perspective fourni par G à M.	64
Fig 31 - photo de l’écran de M : il nous montre le disque rouge.	65
Fig 32 - l’opérateur nous explique une problématique en exploitant le geste.	65
Fig 33 - graphe topologique du “22”.	67
Fig 34 - Comparaison des lignes du temps.	70
Fig 35 - Pourcentage d’utilisation des outils médiateurs.	71
Fig 36 - Fonctions de la représentation : pourcentage de répartition.	72
Fig 37 - Modèle sous-jacent de la représentation : pourcentage de répartition.	73
Fig 38 - Temps passé à la résolution d’erreurs sur base du PED.	73
Fig 39 - Graphe d’activité du designer “concepteur”, avec ses trois couches : activités, outils médiateurs et collaborations.	76
Fig 40 - Graphe d’activité du designer “concepteur”.	77
Fig 41 - Un dessin “pré-CAO” de CH.	77

Fig 42 - Graphe d'activité du dessinateur.	79
Fig 43 - Une coupe dans Pro-E avec le squelette d'une pièce (trace turquoise).	80
Fig 44 - Un schéma cinématique avec ses rotules.	81
Fig 45 - Un dessin avec ses annotations et son environnement.	82
Fig 46 - Le graphe d'activité du designer, et sa couche "outils médiateurs".	83
Fig 47 - Le graphe des objets médiateurs.	84
Fig 48 - un dessin technique à l'échelle 1/1	86
Fig 49 - exemples d'utilisation de la perspective.	86
Fig 50 - passage d'un plan 2D au 3D.	87
Fig 51 - la cristallisation des attributs : sur un même dessin ou au sein d'une page.	88
Fig 52 - utilisation de la couleur.	88
Fig 53 - haut degré d'implicite de l'esquisse, et superposition des contenus.	89
Fig 54 - illisibilité de l'impression d'une vue 3D.	91
Fig 55 - les modalités collaboratives impactées par la structure hiérarchique.	94
Fig 56 - couche collaborative du graphe d'activité du designer.	95
Fig 57 - modalités collaboratives de l'équipe avec l'extérieur.	95
Fig 58 - répartition géographique des opérateurs.	96
Fig 59 - différentes modalités collaboratives.	96
Fig 60 - l'oral et la dynamique de l'esquisse.	100
Fig 61 - Graphe d'activité et collaboratif proposé.	103

Tableau 1 - Extraits du tableau issu du mémoire de DEA de Laurence Belliès, avec ajouts issus de Darses (2004) en italique dans le texte.	12
Tableau 2 - "The cognitive artefacts of designing", Willemien Visser, 2006, p. 34.	15
Tableau 3 - Tableau de recueil des données des entretiens.	35
Tableau 4 - facteurs d'analyse pour l'étude exploratoire.	35
Tableau C	36
Tableau G	37
Tableau E	37
Tableau F	38
Tableau I	38
Tableau B	38
Tableau D	39
Tableau H	39
Tableau J	39
Tableau K	40
Tableau L	40
Tableau 5 - Caractéristiques exploitables.	40
Tableau 6 - présentaiton des acteurs du terrain.	50
Tableau 7 - Gantt initial de l'intervention.	51
Tableau 8 - Gantt réel de l'intervention.	52
Tableau 9 - Décomposition des hypothèses à tester en observables opérationnels.	54
Tableau 10 - Présentation des observations.	69

Table des annexes (voir volume 2).

Remerciements

Je tiens à remercier tout particulièrement Françoise Darses pour l'aide qu'elle m'a apporté, pour ses conseils et sa patience.

Merci également à l'ensemble du jury, directeurs et relecteurs, équipe du CNAM, pour l'accueil qui m'a été réservé, leur soutien et bienveillance.

Je ne peux oublier toute mon équipe du LUCID-ULg et Pierre Leclercq, qui m'ont toujours apporté toute leur assistance et leur bonne humeur.

Enfin, *last but not least*, je remercie l'entreprise Namuroise Concept & Forme, Recherche et Développement, pour la confiance qui m'a été accordée et ces journées extrêmement enrichissantes passées en compagnie de toute l'équipe.

Partie I - Contextes

1. Introduction

Le présent travail interroge l'extension et la modulation des usages des outils médiateurs en design industriel et les impacts que peuvent présenter de telles évolutions sur les processus de la conception, soit la tâche de designer industriel. Les questions de mise au point et d'évaluation d'outils de support aux métiers de la conception intéressent depuis longtemps les communautés de l'ergonomie, de l'Interaction Homme-Machine et du Design Engineering. Les efforts mis en oeuvre au travers de développements d'outils de CAO par exemple (Conception Assistée par Ordinateur) sont nombreux mais restent trop timides, et trop fréquents sont les échecs recensés malgré de solides fondements théoriques. Quelles en sont les causes ? En 1990 déjà, Galegher et Kraut (cités par Barthe et Quéinnec, 1999) prétendent que les problèmes rencontrés en CSCW par exemple (Computer Supported Cooperative Work) s'expliqueraient par une certaine méconnaissance de l'activité **réelle** du travail d'équipe. Nombreux seront plus tard les auteurs qui les rejoindront sur ce point.

Confrontés aux mêmes interrogations dans l'examen de ces problématiques, nous optons ici pour une approche ergonomique "compréhensive". L'ergonomie développe en effet, sur terrain, une vision centrée "utilisateur": étude détaillée de son profil et de ses tâches, prescrites ou non; de ses modalités de travail, seul ou avec les autres; des stratégies qu'il/elle met en place; des compétences requises ou encore étude des incompatibilités de sa tâche avec ses modes de fonctionnement. Cette discipline sait de plus se plier à la logique d'entreprise, de fiabilité, de productivité, et de concurrence inhérente aux milieux industriels (Dejean & Naël, 2004). Elle nous permettra donc d'étudier, de façon particulièrement adaptée, les impacts divers enregistrés dans les milieux de la conception depuis l'avènement de nouveaux outils tels que la CAO. Avant d'examiner les problématiques qui s'offrent à nous, de décrire les enjeux pour la recherche en ergonomie et de sélectionner les questions dont nous allons approfondir l'étude ici, abordons tout d'abord de façon plus large le monde du "design" et ses défis.

2. Contextes

Nous ferons souvent appel à la notion de "contextes" tout au long de ce travail. Comme l'exprime le terme de "ressources environnementales" (Benckroun & al, 1995, dans Decortis & al, 2000), ces contextes (nous soulignons le pluriel) regroupent toutes les sources potentielles d'information dont le concepteur pourrait avoir besoin pour mener à bien sa tâche. Dans le cas particulier étudié ici, nous le verrons, les contextes regroupent principalement le contexte du "projet" de design (les conditions de sa demande, les délais, contraintes, coûts, les modalités de communication avec le client, ...); le contexte de la conception individuelle ou collaborative, le contexte de travail (l'environnement physique de travail, les outils à disposition, l'organisation hiérarchique et les liens sociaux créés entre collègues). Cette polysémie transparaît tout au long des verbalisations étudiées et sera utilisée délibérément ici pour rendre aux métiers de la conception toute leur épaisseur conceptuelle. Elle s'explique d'après Darses (2004) par la coexistence de plusieurs niveaux d'abstraction dans la compréhension des phénomènes.

2.1. "Design" ?

La définition du "design", proposée par le ICSID (International Council of Societies of Industrial Design), est la suivante : *" le design est une activité créative, qui consiste à définir des propriétés formelles d'objets*

qui seront produits de manière industrielle. Par propriétés formelles nous n'entendons pas que caractéristiques externes, mais surtout relations structurelles qui font d'un objet ou d'un système d'objets une unité cohérente, tant du point de vue du producteur que du consommateur"¹. Cette activité se situe en quelque sorte entre des milieux tels que l'art, où la créativité existe et se justifie pour elle-même, et des milieux comme l'ingénierie dans sa forme la plus rigide, où des modulations de solutions techniques répondent à des contraintes ordinaires apparaissant dans des situations répétitives². Le "produit industriel", sera distingué de l'objet d'art grâce aux notions de standardisation et de production en série (Deforge, 1990, dans Dejean & Naël, 2004). L'intérêt d'un domaine tel que le design est qu'il nous propose, tout comme l'architecture, d'aborder les multiples facettes de la conception. La résolution de problème, la gestion des contraintes, l'innovation, la production, les aspects collaboratifs et gestionnaires de la tâche ou encore les contraintes temporelles et concurrentielles sont autant de domaines d'investigation.

Le design industriel apparaît au milieu du 19^{ème} siècle. La révolution industrielle et la production en série exclut tout d'abord les artisans des procédés de fabrication, pourtant jusqu'alors principaux fournisseurs d'objets usuels. La nécessité de ré-instaurer un équilibre entre l'art (de la conception) et l'industrie se fera cependant très vite sentir et avec elle le besoin d'un type nouveau de concepteur : le designer industriel. Celui-ci intervient dans des processus de conception balayant de larges secteurs, tels que l'industrie lourde, les objets du quotidien, l'électronique, le textile ou encore par exemple le graphisme. Sous la dénomination de "designers" se cache donc une multitude de métiers ayant chacun techniques et spécificité propres telles que le thermoformage ou la découpe du cuir. Ces diverses spécialisations appellent également de multiples collaborations avec d'autres corps de métier (architectes, ingénieurs, techniciens ou ouvriers en fonction du domaine et de l'état d'avancement du projet). Face à l'ampleur du champs d'activité ainsi esquissé, une sélection s'impose: nous nous intéresserons plus particulièrement ici aux **phases préliminaires** de conception dans le milieu du design d'objets usuels, soit la branche "**design de produits**" du design industriel. L'intérêt porté à la phase d'idéation constitue en effet un réel enjeu lorsqu'il est question du soutien de la conception par ordinateur. Le design industriel de produits, d'autre part, nous permet d'aborder des projets plus "innovants" ou "créatifs" qu'en conception mécanique et nous offre également la possibilité d'aborder des contextes plus facilement appréhendables parce que moins pointus techniquement.

2.2. Design industriel : objectifs et contraintes

L'objectif principal pour un designer est de proposer une conception qui soit à la fois **nouvelle** - "créative"; "innovante" sont d'autres mots que l'on rencontrera dans la littérature - mais aussi et surtout **adaptée à la situation** (adaptée aux hommes, à l'environnement). Elle doit répondre à une demande existante susceptible de constituer un marché rentable pour d'éventuels investisseurs. Le designer se doit de concevoir à "différents niveaux", en fonction notamment de certaines contraintes que l'on peut lister (non exhaustivement) comme suit :

- le respect des contraintes physiques de base : dimensions, espace alloué, limites de poids, propriété des matériaux, consommation énergétique (de la production à l'utilisation; développement durable et énergie grise; ...), puissance, respect des modes opératoires, des contraintes temporelles, respect des normes en terme de pollution, vibrations, dégagement de chaleur, niveau hygrométrique, odeurs ou niveau sonore, ...
- l'adaptabilité aux besoins, l'ergonomie (au sens anthropométrique du terme en général);
- la sécurité;
- la protection environnementale;
- la durabilité et la constance des propriétés dans le temps ainsi que la limitation de la dépréciation;
- l'atteinte des performances attendues;
- un minimum de maintenance;
- la facilité d'appréhension, de compréhension du produit (idéalement auto-explicatif);

¹ Traduit librement de l'anglais.

² Nous aborderons et développerons ce point dans l'état de l'art (processus routiniers, innovants et créatifs).

- la concurrence;
- la satisfaction des clients et un certain niveau d'acceptation au sein d'un marché. Selon Swasy (1990, cité dans Quarante, 2001), 80% des nouvelles productions sont en effet des échecs d'un simple point de vue d'acceptation de la part du public;
- l'exploitation des avantages offerts par la standardisation;
- la notion globale des coûts: de conception, de production et de mise sur le marché qui doivent rester minimum, considération des coûts temporels (pertes de temps), coûts de maintenance, risques pour la santé (des opérateurs au travail mais aussi des utilisateurs), ...
- la volonté esthétique, dont l'étude, loin d'être aisée, a été abordée par de nombreux auteurs mais sort du cadre de ce travail.

On notera que le design industriel partage avec l'ergonomie des intérêts communs, tels que les critères de sécurité, d'efficacité et d'utilité, ou encore de réponse à la variabilité humaine (Dejean & Naël, 2004). Ces auteurs citent même le modèle ergonomique couramment utilisé dans les milieux industriels, soit "Acceptability = Utility + Usability + Affordability".

La conception peut se décliner sur plusieurs niveaux: le designer peut être confronté par exemple à la conception d'un produit totalement neuf ou à une re-conception. Il doit alors, en fonction de la situation, considérer en plus de toutes les contraintes de nombreuses alternatives possibles. Va-t-il supprimer certains composants, certaines fonctions qu'il juge inutiles? Sur quels critères se baseront ses choix? Va-t-il réduire certains composants ou certaines parties? Simplifier? Modifier tout ou en partie, par exemple des matériaux, des techniques de production, pour une plus grande efficacité et/ou des coûts réduits?

Quarante, (2001) propose le schéma suivant en guise de résumé global:

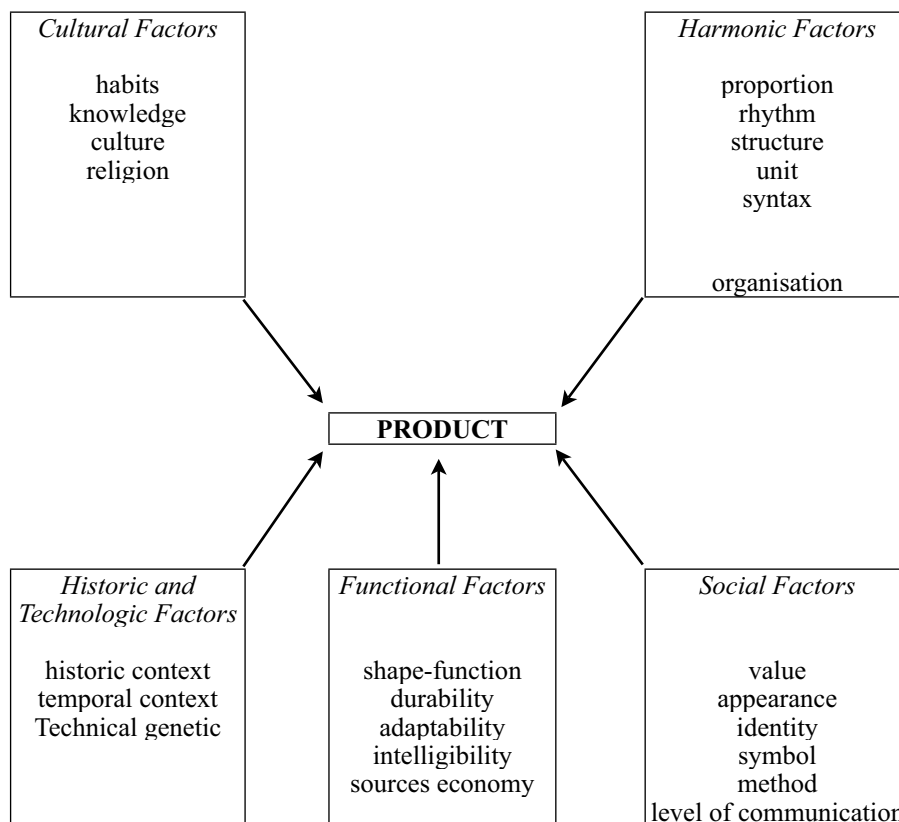


Fig 1 - "Eléments de design industriel", Danielle Quarante, p. 119.

Toutes ces contraintes n'apparaîtront pas dans chaque acte de conception considéré indépendamment, ou rarement tout du moins. L'interconnexion de quelques unes d'entre elles suffira à rendre un projet "basique" extraordinairement complexe.

2.3. Enjeux et défis du design industriel

Avant d'avoir à considérer les contraintes d'une situation et d'entamer la conception, le premier défi à relever pour les designers est la négociation de la place et du rôle qui leur seront attribués au sein de leur entreprise. La nécessité d'intégrer un designer ou une équipe de designers dès les phases amont d'une production ne s'impose que depuis peu. Ils n'ont en effet pas toujours été associés au succès qu'un produit innovant peut apporter en termes de rendement économique et de compétitivité à une entreprise.

L'examen du graphe suivant nous montre qu'il en est autrement aujourd'hui. Retraçant le "niveau de performance" en innovation des pays européens, il prouve combien il est crucial pour des nations telles que la France et la Belgique de dépasser leur stade actuel, celui des pays "suiveurs en innovation", afin de tendre toujours plus vers l'idéal d'une innovation constante et généralisée (idéal matérialisé le plus souvent par les pays nordiques). L'objectif premier est avant tout de se démarquer des pays "moins innovateurs" mais cependant en constante évolution, afin d'offrir à nos économies la garantie d'un argument de concurrence fiable.

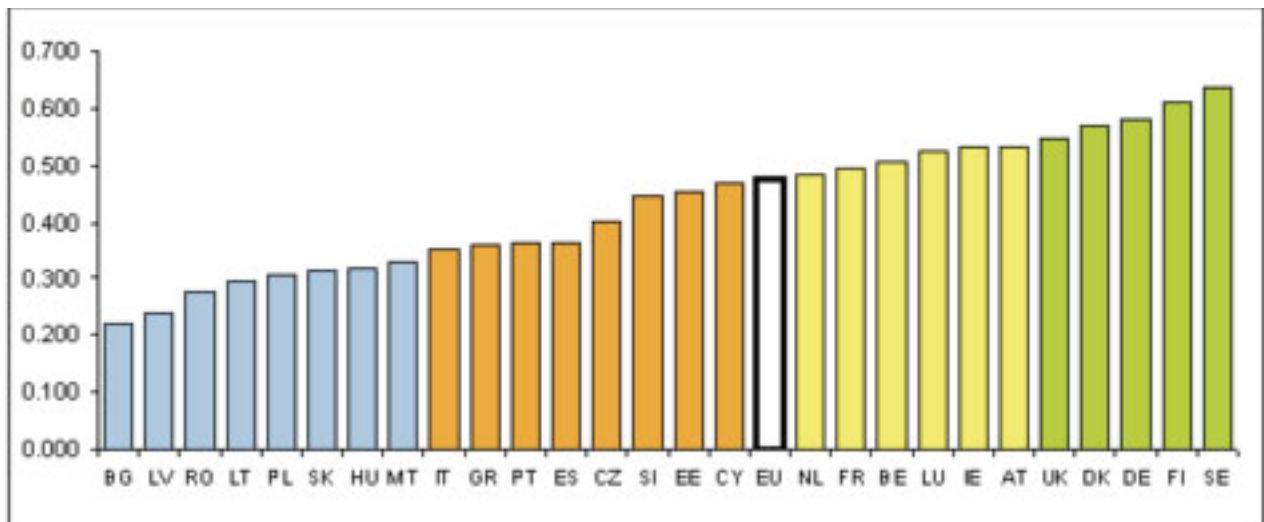


Fig 2 - "Summary innovation performance EU Member States (2008)", extrait du rapport annuel "European Survey Innovation 2008", de UNU-MERIT, Maastricht Economic and social Research and training centre on Innovation and Technology.

L'institution d'une politique d'innovation efficace via l'ancrage, au sein de toute stratégie entrepreneuriale, des métiers de la conception peut être soutenue de diverses manières. Le design de produit implique un nombre important d'interconnexions avec des domaines variés : architecture, sociologie, mais aussi pédagogie, ergonomie, nouvelles technologies et informatique.

Product design and implied domains														
	Urbanism	Architecture	Sociology	Aesthetic	Pedagogy	Ecology	Psychology	Economy	Marketing	Ergonomy	Technology	Computer	Value analysis	Patent
Product design	○	○	●	●	○	●	●	●	●	●	●	○	●	●
Domains widely involved	●													
Domains involved	○													

Fig 3 - "Eléments de design industriel", Danielle Quarante, p 456.

Ces thématiques représentent autant d'axes de recherche dont l'étude est en effet susceptible d'améliorer les pratiques quotidiennes des métiers de la conception. Si l'on s'intéresse plus particulièrement à l'interaction homme-machine (outils CAO actuels), les graphes suivants nous donnent deux informations importantes : (i) c'est en grande partie par la pratique que les concepteurs s'approprient l'outil informatique (qu'il soit de gestion, de conception pure, ...); (ii) 66% des concepteurs interrogés considèrent l'outil informatique comme au moins "nécessaire".

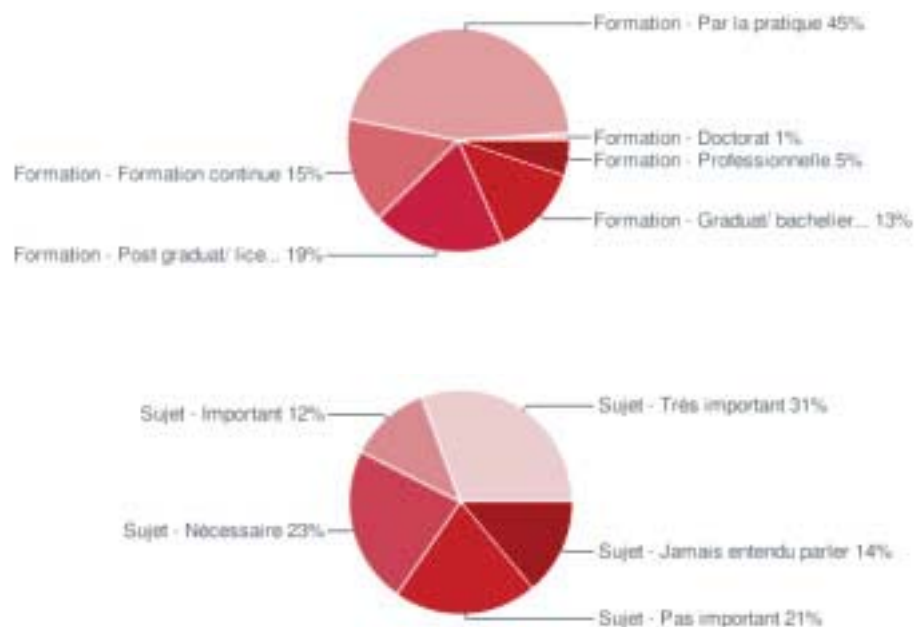


Fig 4 - Source : Edti european design training incubator Internet Surveys - sept.2009

On ne peut plus nier que ces outils (CAO) occupent une place primordiale dans les processus de conception. Les délais, les contraintes du marché, le contexte concurrentiel rude obligent les concepteurs à avoir recours toujours plus vite au travail informatisé, dont l'efficacité est exigée dans les phases de production ultérieures. Cela laisse malheureusement peu de place aux phases purement conceptuelles durant lesquelles les concepteurs ont également pour habitude d'exploiter d'autres outils, plus "traditionnels". L'introduction de nouvelles technologies, comme le souligne Caroly (2007), peut constituer une dynamique positive pour le concepteur (construction des connaissances, des compétences, ...) mais à condition que ce changement et l'appropriation de ces technologies soient correctement outillés, et que les nouveaux codes ainsi mis en oeuvre soient cognitivement compatibles avec les pratiques globales de la conception. Ces observations confortent bon nombre de chercheurs dans leur conviction qu'un examen rigoureux des besoins des opérateurs dans l'usage des systèmes, mais aussi dans la gestion et l'organisation du projet de conception (Béguin, 1996), s'avère indispensable pour un développement efficace d'outils de soutien aux tâches de conception.

2.4. La Conception Assistée par Ordinateur : 20 ans de recherche, de nombreux défis

Cet examen d'un support logiciel des tâches de conception est effectivement le sujet de nombreuses recherches. Depuis une vingtaine d'années, de nombreuses avancées sont ainsi réalisées dans les domaines :

- des outils dits "déclaratifs" de représentation graphique, 2D ou 3D, tels que Autocad®, Archicad®, Studio Max 3D®, Pro-Engineer® etc. Ils constituent ce que nous appellerons les outils "CAO" traditionnels;

- des bibliothèques de données qui proposent au concepteur un ensemble d'éléments graphiques dont il fait habituellement l'usage lors des phases amont de la conception;
- de la reconnaissance d'écriture, d'annotations, de symboles, ... qui permettraient à l'ordinateur de "capter" et de "comprendre" les intentions de l'opérateur via ses "gestes", de manière à pouvoir mieux le guider au travers de l'exécution de ses tâches;
- de la mise au point de bibliothèques comme soutien de l'inspiration (images sources, analogies intra- et inter- domaines, ...);
- des systèmes critiques.

Le domaine du " sketch based modelling" vise également à soutenir les phases amont de l'idéation via des métaphores diverses de la technique "papier/crayon". Une revue des principaux outils de ce domaine pourra être trouvée dans (Danesi & al, 1999)³. Ces outils ne visent pas à supplanter la CAO traditionnelle mais bien à la compléter pour gommer ses lacunes.

Une première "révolution" a bel et bien eu lieu lors de l'avènement des premiers outils de CAO, et son principal mérite a été d'en dévoiler les nombreuses limitations (dont un résumé sera fait plus loin). Pourtant, malgré ces limitations et l'inadaptation de la plupart des logiciels proposés sur le marché, ils ont été rapidement intégrés aux pratiques des concepteurs, tant et si bien que la CAO est aujourd'hui utilisée au quotidien dans une grande majorité des bureaux d'ingénierie, d'architecture ou de design industriel !

Cet engouement peut s'expliquer très facilement. En effet, malgré ses désavantages pourtant flagrants, la CAO reste:

- très puissante et rapide pour les phases de production et de rendu (évaluateurs, résolutions analogiques rapides, simulations de contraintes ou de lignes de production, modélisation de projets trop complexes pour le dessin industriel manuel,...);
- efficace pour des transferts rapides vers le prototypage rapide, les collaborateurs ou partenaires industriels fidélisés et habitués à ces échanges;
- très utile pour la communication du projet, facilitant de ce fait les relations avec le client.

La CAO, avec les multiples paradoxes qu'elle provoque et développe, laisse donc le chercheur devant un véritable défi. Les concepteurs ne semblent pas à l'heure actuelle avoir trouvé l'environnement qui pourrait effectivement soutenir leurs tâches de conception préliminaires, mais ils utilisent pourtant intensivement les outils à disposition, reconnaissant tant leurs mérites que leurs influences néfastes, en espérant toujours pouvoir trouver mieux. Le paradoxe ne semble donc exister qu'à première vue : les instruments ont évolué, et avec eux, conjointement, les schèmes d'utilisation et l'activité des opérateurs. Le chercheur ergonomiste, en considérant la question de la Conception Assistée par Ordinateur, se retrouve ainsi au sein d'un réseau complexe de problématiques. Toute recherche portant sur l'outil informatique, étant donné l'importance que "l'artefact" médiateur représente pour la tâche de conception, devra d'abord tenter de comprendre quels ont été ses impacts sur les métiers et comment l'opérateur a pu ou non s'en accommoder.

3. Intérêt de la question posée pour l'ergonomie

L'étude ergonomique des métiers de la conception au travers des outils médiateurs utilisés nourrit bien d'autres domaines étroitement associés: l'innovation, créativité, Recherche et Développement pour ne citer qu'eux.

³ Le lecteur intéressé pourra trouver ce classement en Annexe 17.

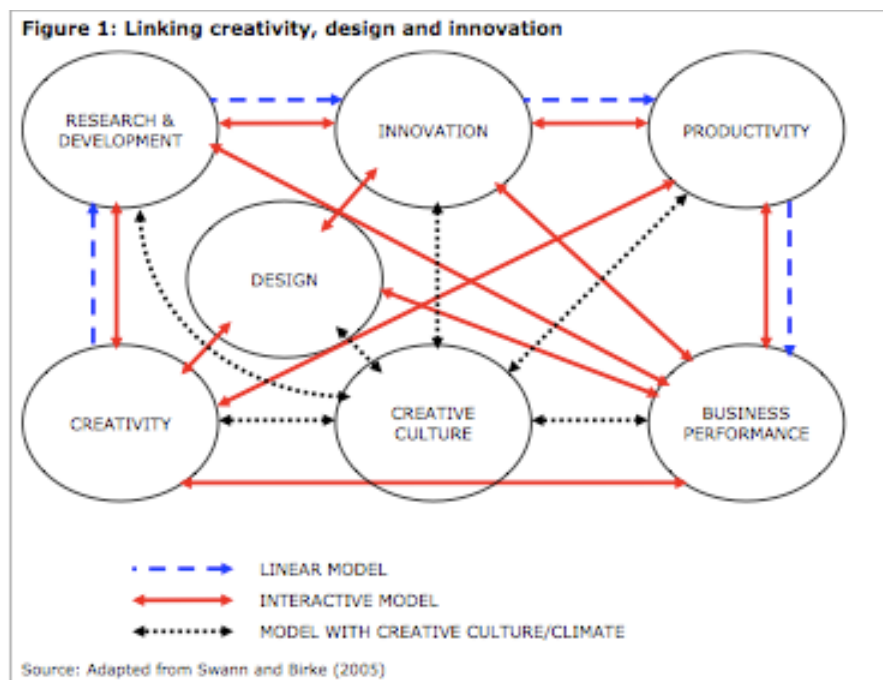


Fig 5 - Extrait du rapport annuel "European Survey Innovation 2008", de UNU-MERIT, Maastricht Economic and social Research and training centre on Innovation and Technology.

L'intérêt principal pour l'ergonomie sera donc le "brassage" de ces divers points de vue et la potentialité offerte de nourrir ces différents domaines et d'être en retour nourris par eux. L'objectif premier pour l'ergonome est en effet de soulager les opérateurs de certains aspects complexes et ardues de leur tâche (ou en tout cas de faire en sorte que les outils qu'ils utilisent ne la complexifient encore davantage), d'assurer un maintien d'une certaine qualité de vie ou encore de s'assurer que les atteintes à la santé soient limitées au maximum. Il est certainement intéressant pour la recherche en ergonomie de constater que la question des modalités d'interaction avec l'outil informatique puisse être, dès la tâche de conception, directement en lien avec des problématiques telles que la productivité, la qualité du poste de travail ou encore les performances individuelles et collectives.

Mais c'est aussi vers les apports indéniables de l'ergonomie au développement de tels outils qu'il nous faut nous tourner. En prime des développements économiques, concurrentiels et sociétaux présentés plus haut, que l'ergonomie pourrait instruire à bon escient, elle offre au chercheur des méthodologies et fondements théoriques dont l'exploitation peut s'avérer particulièrement fructueuse. Ainsi, l'examen des éléments, positifs comme négatifs, de la relation entretenue par le concepteur avec l'objet de son travail au travers d'un outil de médiation et des caractéristiques de cette interaction, tel que proposé par les théories de l'activité et instrumentales, constitue selon nous un vivier prometteur de spécifications garantissant une conception plus adaptée aux besoins de l'opérateur. Comme le souligne Béguin (2007), les connaissances cristallisées (et à cristalliser) dans un dispositif technique et les potentialités de développement du concepteur ne peuvent s'appréhender que via une approche précise de l'activité de travail, et ce dans l'objectif de fournir un système "souple et plastique". Des marges de manoeuvre suffisantes sont ainsi laissées aux opérateurs, pour une meilleure atteinte des objectifs tant sur le plan productif que sur le plan de la santé - ce qui provoque par ailleurs l'atteinte en cascade des autres objectifs ergonomiques.

De plus, l'étude d'une thématique telle que les impacts de la CAO sur les processus de conception a également le mérite d'ouvrir bien des perspectives. Les ergonomes qui se penchent sur la question de l'outil médiateur en regard de ses influences, plus particulièrement sur les modes opératoires des concepteurs les utilisant au quotidien, s'intéresseront en effet immanquablement à d'autres problématiques. Les thématiques suivantes pourront être considérées par extension:

- i. Comment l'ergonomie pourrait-elle s'intégrer activement dans des cycles de conception d'outils médiateurs ?
- ii. Quelles méthodologies d'analyse du travail de l'opérateur de la conception pourraient efficacement nourrir la mise au point de ces outils ?
- iii. Quels sont les moyens d'action de l'ergonomie en matière de formation - formation à la conception d'outils, à leur utilisation etc. ?

Enfin, l'intérêt plus particulier porté au domaine du design industriel permet d'élargir encore la gamme de métiers de la conception qui sont habituellement considérés en ergonomie (architecture, ingénierie, ...). Le design industriel a ceci d'intéressant qu'il propose de nouvelles modalités de la conception collaborative et une multitude de profils ou de "chemins de la conception".

4. Etat de l'art

Avant d'aller plus en avant dans l'examen et le développement des questions de recherche à la lumière du terrain choisi, il nous faut faire l'état des lieux des travaux menés dans les différents secteurs et thématiques abordés tout au long de ce travail.

Parmi les paradigmes contemporains de l'ergonomie (Darses & al, 2004), nous analyserons les données recueillies sur base de la théorie de l'activité. L'aspect développemental de cette approche développée par Vygotski (1934-1997, dans Darses & al, 2004), qui considère que le sujet poursuit son propre développement grâce à l'exécution de son activité, sera exploité selon un angle légèrement différent. Tout comme le sujet et son activité évoluent au gré de leurs interactions, nous nous pencherons plutôt sur le potentiel de développement de l'artefact, au travers du sujet et de son activité. Cette approche pratique de l'outil et de la représentation liée se rapprochera de ce fait des théories de la médiation par l'artefact (Vygotski, Léontiev, cités in Folcher et Rabardel, 2004). De la cognition sociale distribuée nous retiendrons le caractère non symétrique de la relation qui lie l'outil au sujet, ainsi que l'étude de l'aspect social et contextualisé de la conception. Nous retiendrons également de ces axes théoriques l'étude des aspects collaboratifs et les diverses répartitions des connaissances qui existent : entre acteurs de compétences différentes (Rabardel et Bourmaud, 2003), entre l'homme et ses propres connaissances, entre les représentations internes et externes, entre les dispositifs techniques (Leplat, 2000). Au point de vue systémique, enfin, nous emprunterons l'extension des facteurs considérés, les éléments de l'analyse devant plutôt être considérés comme "les parties de plus grands tous, plutôt que comme des tous qu'il faut décomposer en parties" (Ackoff, in Leplat, 2000).

4.1. La théorie de l'activité comme référentiel d'étude théorique

Nous développons ici brièvement les trois pôles du triangle de l'activité tels que proposés par les théoriciens russes.

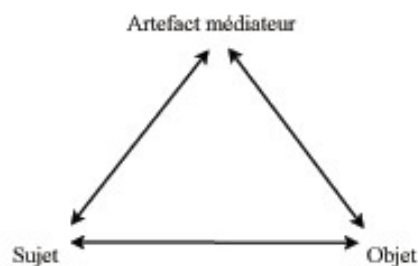


Fig 6 - Le triangle de l'activité - Théorie de l'activité - Ecole Russe (Léontiev, Vygotski)

4.1.1. Le sujet - le concepteur en design industriel

La volonté de ne pas tomber dans le piège de l'acteur "évident" nous a poussé à nous intéresser à tout sujet susceptible d'utiliser les outils médiateurs à sa disposition dans un quelconque acte de conception. Très rapidement sont apparus comme acteurs incontournables le dessinateur et en plus faible proportion le prototypiste, en dehors du designer et dans le cadre précis de nos recherches (tant exploratoires que de terrain).

4.1.2. L'objet (de l'activité) - la conception d'un produit industriel

L'objet de l'activité d'une équipe de concepteurs est la conception et la mise sur le marché d'un produit industriel. Au sein de cette activité globale, on peut distinguer des tâches, prescrites ou réelles, de conception individuelle ou collaborative. Au sens large, une tâche se définit par "son but, c'est à dire par le résultat final à atteindre, et par les conditions de travail dans lesquelles elle doit être exécutée (états, opérations, procédures)" (Berthe et Quéinnec, 1999). Dans ce cadre précis d'examen de tâches de conception outillées, nous considérerons également les définitions suivantes :

- pour Lebahar (2007), la réalisation d'une tâche de conception consiste à "construire un modèle d'artefact, c'est à dire une représentation";
- quant à Visser "l'activité de conception consiste en la transformation d'une représentation en une autre, où les deux sont de nature différente, mais représentent le "même" artefact" (Visser, 2009, p.70).

4.1.3. L'artefact médiateur - l'outil, la représentation

Il a été primordial, tout au long de cette recherche, de ne pas confondre les représentations et les outils. Ces derniers sont définis par Lefort comme "tout élément matériel utilisé par l'opérateur pour agir sur un autre élément" (1982, cité par Bourmaud 2006), et se distinguent donc des représentations externes qui sont le produit de leur utilisation. Nous emprunterons, pour ces dernières, la définition que Rabardel donne de l'artefact (1997, cité par Bourmaud, 2006) : "produit de l'activité humaine intentionnellement constitué comme objet matériel et symbolique". Cette distinction sera détaillée plus tard (voir point 4.6).

Les termes d'artefact et d'objet intermédiaire seront exploités pour désigner l'outil et/ou la représentation utilisés comme objet d'une médiation, du concepteur/utilisateur vers lui même ou vers d'autres.

4.1.4. La notion sociale et située du triangle de l'activité

Dans le cas où plusieurs opérateurs "concepteurs" seraient intégrés conjointement à la réalisation d'une tâche de conception pour leurs compétences diverses, nous garderons alors à l'esprit les théories d'Engeström. Celles-ci ajoutent une épaisseur "sociale" au triangle de l'activité qui permet de prendre en compte des éléments tels que les règles, les différentes communautés et la division du travail qui s'instaure.

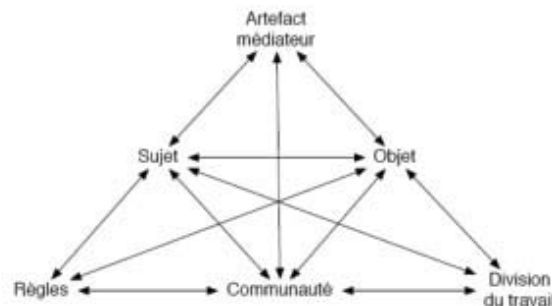


Fig 7 - Intégration des aspects socio-économiques et organisationnels, triangle de l'activité (Engeström)

4.2. Processus cognitifs en conception

Les tâches de conception, mais aussi la créativité, l'innovation, l'insight et d'autres thématiques associées constituent depuis longtemps un axe de recherche important. Nous passons rapidement en revue les principales propositions théoriques relatives aux processus cognitifs développés par le concepteur durant sa tâche.

La définition et la caractérisation d'un processus de conception est historiquement associée à celle d'une résolution d'un problème, et ce depuis les travaux fondateurs de Simon. Lubart propose une définition générale du terme de "problème" comme étant "(...) toute tâche qu'un individu cherche à accomplir" (et al, 2003, p.88, cité par Bonnardel, 2006).

Le processus de conception peut ensuite se différencier d'une approche si englobante en s'organisant sur différents niveaux: conception routinière, innovante, ou créative. On a vu plus tôt qu'une conception doit présenter à la fois un critère novateur et adapté à la situation, et c'est vers le critère "novateur" qu'il faut se tourner afin de mieux comprendre pourquoi ont été définis ces niveaux de "créativité". Comme le souligne Bonnardel, ce caractère novateur s'associe à l'idée d'originalité, "l'idée ou la production (devant) se distinguer de ce qui a déjà été réalisé par le créateur lui-même ou par d'autres personnes" (2006, p.21). Cette idée de nouveauté, elle-même difficilement définissable, est bien plus facilement appréhendée lorsque des distinctions telles que "créativité habile ou routinière", "extra-ordinaire, innovante ou non routinière" apparaissent. Selon Mayer (1989, cité dans Bonnardel, 2006) et avant lui Rasmussen (1983, cité par Falzon et Teiger, 1995), un problème routinier ou habile (comportement régi par des habiletés) peut se définir comme un problème facilement résolu grâce à l'application de procédures de résolutions pré-définies et connues. Le produit ne diffère que légèrement de ce qui a été conçu auparavant, le concepteur peut rapidement appliquer un schéma de résolution connu. Dans le cas des problèmes non routiniers par contre, qui peuvent être soit "innovants", soit "créatifs" (voir Darses, 2004) aucune procédure connue n'est disponible. Les concepteurs doivent faire preuve de créativité dès la phase de mise au point de cette nouvelle procédure. Pour se faire, ils font appel à toutes les connaissances à disposition : connaissances dans leurs domaines ou dans d'autres, heuristiques de résolution, ... (Falzon et Teiger, 1995). Le produit est alors en grande partie différent des solutions proposées antérieurement. Les aperçus que nous pourrions avoir de la conception en design industriel appartiendront plus aux problèmes dits de "conception innovante" (Darses & al, 2004).

En ce qui concerne la résolution d'un processus de conception, les débats subsistent toujours entre d'une part les défenseurs d'un modèle hiérarchique, plus structuré, et d'autre part ceux d'un modèle opportuniste. L'option opportuniste semble plus proche des processus que nous aurons l'occasion d'observer, mais nous garderons à l'esprit que les processus peuvent associer les deux principes de résolution (Ullman & al, 1988 et Visser, 1994, cités par Candy 1997). Le choix de l'un ou de l'autre dépend du niveau de complexité de certaines phases de la résolution, de l'expertise du concepteur plus ou moins importante dans tel ou tel domaine et du contexte organisationnel.

Cette résolution opportuniste du processus de conception est une démarche associant deux types de démarches possibles. La première, dite "*top-down*", est liée à la complexité des situations à traiter et à la nécessité de structurer le problème global en sous-problèmes selon une démarche de planification "descendante". Mais l'intégration progressive des contraintes du problème, au fil de la conception, mène à une démarche plus ascendante, dite "*bottom-up*". C'est la combinaison de ces deux démarches qui mène à cette structuration dite "opportuniste", construite en fonction des données introduites plus ou moins "aléatoirement" au cours du processus, et vues comme des possibilités relatives à un coût cognitif⁴. Cette vue

4 Le coût cognitif est défini par Visser (1994, citée dans Visser, 2006) comme "le nombre d'unités d'information qui doivent être traitées et la nature de ce traitement (le coût évaluant tant l'accession aux informations requises que leur utilisation)".

de la conception admet que le concepteur puisse sans cesse re-visiter ses décisions antérieures, faire marche-arrière, s'éloigner de la résolution et en post-poser les phases.

Les approches théoriques en cognition présentées ensuite vont nous permettre de considérer d'autres aspects de la conception. Certaines présentent plus d'intérêt dans le cadre particulier de nos recherches⁵ et seront explicitées plus en détail.

4.2.1. L'approche heuristique

Globalement, cette approche refuse d'accorder trop de crédit à ce qui est uniquement fondé sur l'analyse. Popper (1972, cité dans Visser, 2006) assure qu'aucune décision ne peut être déduite d'un fait isolé : le concepteur détient initialement des connaissances qu'il va utiliser en comparaison avec le problème proposé. Seront ainsi exploités des règles générales du domaine tout autant que des faits issus de l'expérience personnelle. Cette exploitation peut être typologique (Heath, 1984, cité dans Visser, 2006): le concepteur résout de problème en regard de sa signification sémantique⁶ ; ou conceptuelle (Zeisel, 1981, cité dans Visser, 2006): le designer sélectionne rapidement une image globale intuitive du produit⁷.

4.2.2. Processus référentiels

Aussi appelés "analogies", ces processus constituent une stratégie de résolution de problème possible: l'appel à des connaissances préalables, stockées en mémoire. Ils peuvent être classifiés comme suit (Lassange, 1995, cité dans Visser, 2006):

- Transfert de composants : des composants finalisés sont ré-interprétés à la lumière du nouveau projet et de son contexte. Le schème de réponse est pré-existant et doit juste être adapté.
- Réutilisation de processus : "dans le style de ..."
- Référence indirecte : le concepteur se réfère à des représentations figuratives, des objets, un élément culturel, un sentiment, des idées, ... (Goodman, 1990, cité dans Visser, 2006).

Ces analogies, grâce à la multiplicité des domaines de connaissances et des sources d'information invoqués, sont distinguées des plagiats.

4.2.3. Transformation des représentations sur divers niveaux d'abstraction

Cette caractéristique du processus de conception est fort bien résumée dans Darses (2004). L'auteur rappelle que la manipulation des représentations artefactuelles va se faire, au fil de la conception, à des niveaux d'abstraction différents. Le parcours au travers d'une "hiérarchie d'abstraction" (Rasmussen, 1979, cité par Darses, 2004) privilégierait les bas niveaux de représentation (matériels et concrets).

4.2.4. Autres caractéristiques du processus de conception

Parmi les autres caractéristiques d'un processus de conception, que nous ne développerons pas ici, nous pouvons souligner :

- que la résolution d'un problème complexe, et donc non-routinier, se caractérise par l'absence d'une procédure de résolution pré-définie;

⁵ Le lecteur intéressé se référera à (Darses, 2004) pour une présentation plus complète de tous les phénomènes présents.

⁶ Par exemple : face à des objets symbolique, le designer va faire appel à son intuition, et face à des produits plus traditionnels il préférera une approche plus systématique, presque algorithmique (résolution pré-définie, routinière du problème).

⁷ Et la conception en elle-même commence alors après la sélection intuitive de cette première image interne.

- que ces problèmes sont en général “peu ou mal définis” (Simon, 1973 et 1995, cité par Bonnardel, 2006); sont sémantiquement complexes et riches; font appel à des connaissances complexes et vastes dans leurs domaines d’origine qui sont distribuées entre plusieurs acteurs (Fischer 2001 et 2005, cité par Bonnardel, 2006);
- La solution n’est qu’acceptable et satisfaisante, jamais optimale, les critères d’évaluation d’une éventuelle “solution suprême” n’existant pas.

Les consensus qui ont pu apparaître entre les divers auteurs se trouvent également fort bien résumés dans un tableau proposé par Belliès (1994), que nous nous permettons de reproduire ici. Il présente les différentes caractéristiques présentées plus haut, accompagnées de quelques autres, et de leurs conséquences sur la résolution d’un problème de conception.

Caractéristiques de la tâche de conception (en design industriel)	Conséquences sur la structuration de l’espace problème/solution
Taille des projets vastes	Entraîne des changements de représentation médiatisées par une hiérarchie d’abstraction
Problème mal défini, <i>mal structuré, vaste</i>	Entraîne une décomposition des buts en sous-buts et contraintes, de façon plus ou moins cohérente
Contraintes fluctuent et sont énoncées tout au long du projet <i>Définition du problème et élaboration de la solution se font en interaction</i>	Déclenche une organisation opportuniste
Les buts à atteindre sont mal définis <i>Retours en arrière sont longs et coûteux, mais pas impossibles</i>	Les concepteurs doivent se compromettre sur les décisions et développer des stratégies de contrôle dans un esprit de “moindre compromission”. La solution n’est pas unique ni optimale, mais satisfaisante.
Les possibilités d’évaluer l’adéquation du projet à son utilisation finale sont limitées (au cours de la résolution) car éloignées dans le temps. Les critères d’évaluation sont mal connus (Darses, 2004).	Entraîne la modélisation du projet, la simulation de son fonctionnement.
<i>Elargissement de la sphère des acteurs et processus d’ingénierie et conception dits “concourants”</i>	<i>Mise en place de structures dites “participatives” Prise en compte des dimensions socio-cognitives Introduction d’une version “forte” de la coopération (Zarifian, 1996, cité par Darses, 2009).</i>

Tableau 1 - Extraits du tableau issu du mémoire de DEA de Laurence Belliès, avec ajouts issus de Darses (2004) en italique dans le texte.

4.3. Modèles de Processus cognitifs

Deux disciplines se sont impliquées dans la tentative de modélisation de processus de conception : d’une part la communauté de l’*engineering design*, et d’autre part celle de la recherche en psychologie cognitive. Howard et al (2007) ont comparé les deux angles de vue (soit pas moins de 23 modèles de l’*engineering design* et 19 modèles de processus créatifs en psychologie) et ont prouvé que, contrairement à ce que l’on pourrait peut-être penser, de nombreux points communs existent. Les thématiques investiguées en psychologie sont classifiées en 4 domaines distincts, soit le processus créatif, le produit de la créativité (*creative output*), l’analyse de ce que représente l’être “créatif” et les recherches portant sur l’environnement. Elles peuvent être assimilées à ce qui est fait en *engineering design*, soit les processus de résolution de problème, l’analyse du *design output*, l’activité de conception et les recherches portant sur l’organisation, l’équipe et le personnel impliqué dans une activité de conception (Howard & al, 2007, cité dans Howard & al, 2008). Au delà d’une simple similitude, les auteurs des deux domaines semblent s’accorder

conceptuellement sur un point crucial : les activités de conception et les processus créatifs sont considérés comme des processus de résolution de problèmes complexes (Guilford, 1964; Matlin, 2001; Newell, Shaw et Simon, 1962; cités dans Bonnardel, 2006).

Ces multiples modèles sont classés de diverses façons. Cross par exemple, dans son livre “Developments in Design Methodology” (1984), propose un classement selon leur progression chronologique, en 4 étapes principales :

1. La prescription d'un processus idéal : design systématique et méthodes de conception, de 1962 à 1967 ;
2. Description de la nature intrinsèque de l'activité de conception : les problèmes de conception sont à cette époque plutôt considérés comme peu systématisables. Différents auteurs tentent alors de comprendre leur apparente complexité, attribuant une grande part de celle-ci au caractère “mal défini” des problèmes de conception (1966 à 1973). Ce caractère mal défini est lié à l'aspect non exhaustif de la formulation des contraintes et données du problème (Darses & al, 2004);
3. Observation de l'activité de conception dans un cadre réel (collection clinique de données), fin des années 70;
4. Re-visite des concepts fondamentaux de la conception et émergence d'une approche plus “psychologique” (à partir de 1972).

Une autre méthode de présentation de ces modèles est proposée par Visser (2006) qui donne une revue complète et intégrative de la vaste littérature relative à ce sujet. L'auteur propose d'abord au lecteur de passer en revue les modèles fondateurs, datant de 40 ans. Cette première sélection permet de comprendre les distinctions majeures d'approche, les avantages et limitations propres de chacune des “écoles de pensée”. Elles se déclinent en outre en de nombreuses variations qui ouvrent aujourd'hui vers de nouvelles perspectives, comme par exemple (entre autres), la considération d'un processus de conception comme une construction de représentations externes.

4.3.1. Les théories des fondateurs - “Symbolic Information Processing” vs. Approche Située

Parmi les auteurs les plus connus qui ont tenté de modéliser un processus global de conception, il nous faut aborder les travaux de Simon sur les “Symbolic Information Processing”⁸ (SIP) et ceux de Schön, la “Situativity approach”, traduite par “approche située” (SIT). Visser en fait état dans son livre parce qu'elle voit apparaître dans la confrontation de ces deux théories les principaux paradoxes existants en sciences cognitives. Ici seront présentées ses principales conclusions à ce propos.

La proposition de Simon est la suivante : les problèmes mal-structurés⁹ (ou mal définis) doivent être résolus en deux étapes consécutives : la première étant la structuration du problème et son analyse, et la seconde la résolution de celui-ci. Ce paradigme attire l'attention sur l'utilisation qui est faite des connaissances et représentations au cours du processus mais s'intéresse moins à leur construction. Les auteurs ayant rallié ces idées s'intéressent rarement aux interactions du concepteur avec les autres et avec son environnement.

Schön, lui, considère la conception sous un angle constructiviste, comme une pratique réflexive. Comme le souligne Winograd (1996, cité dans Visser, 2006), la tâche de conception est consciente, est centrée sur les intérêts des humains, est créative et communicative, bref est une activité socialisée avec ses conséquences sociales. Une activité “réflexive et située” pourrait donc être définie comme une activité dans laquelle la tâche elle-même devient l'objet de la réflexion, dans un contexte défini. Pour Schön (1992), l'approche SIT doit absolument être contrastée de l'image de la conception comme une “recherche au sein d'un espace problème” (être contrastée donc des théories SIP). Le concepteur construit son propre monde de conception, détermine lui-même les dimensions de l'espace problème et évolue dans cet espace selon son propre

⁸ en français “Traitement symbolique de l'information”, TSI.

⁹ pour une revue plus complète du caractère “mal défini” d'un problème de conception, voir Visser (2009)

mouvement, tentant de trouver une solution. Ces mouvements provoquent des changements inattendus, qui donnent à la situation de nouvelles significations. “La situation répond, le concepteur écoute, et comme il/elle apprécie ce qui est à entendre, il/elle restructure la situation, une fois de plus” (Schön, 1983). Schön nomma cette caractéristique du processus de conception la “réflexion dans l’action” ou la théorie du “voir-transformer-voir”.

Le SIP discuté :

Visser et ses collègues soulignent alors les principales limitations de la théorie SIP :

- Cette théorie est trop systématique, la conception n’étant pas si ordonnée. Simon sur-évalue le rôle de la décomposition systématique dans la résolution du problème : deux phases séparées ne suffisent pas, la conception étant bien plus qu’un processus linéaire.
- Simon considère l’intuition, “l’insight” et l’inspiration non pas comme une “force interne et mystérieuse” mais tout simplement comme un acte de reconnaissance (la résolution par la remémoration). Visser ajoute que, cependant, les idées intéressantes ne sont pas toujours évoquées par les représentations conservées en mémoire par le concepteur, et dépendent souvent de “sauts conceptuels” moins basiques que cela (des “sauts interdomaines”).
- Simon est l’un des premiers à annoncer que la conception n’est pas une activité propre à des ingénieurs, et émet le principe de la solution satisfaisante, qui fait encore école aujourd’hui (1969, cité dans Visser, 2009)
- Enfin, l’approche SIP ignore certaines autres caractéristiques de la conception, riches et spécifiques, qui sont par contre considérées dans la théorie SIT.

Le SIT discuté :

A ce propos, on notera:

- que le SIT présente de grandes lacunes de précision;
- que le caractère de ses conclusions présente un caractère moins généralisable, ce qui est principalement dû à l’importance donnée à l’environnement, le contexte, les caractéristiques sociales et culturelles, soit l’épaisseur conceptuelle des situations dans lesquelles peuvent se trouver le concepteur. Il est en effet complexe de systématiser ces éléments plus “flous” au sein d’un modèle intrinsèquement simplificateur.

Au sein de ces deux écoles de pensées, il existe de nombreuses variantes, modèles qui peuvent encore être classés selon deux grandes catégories : la catégorie des modèles prescriptifs ou descriptifs d’une part, et la catégorie des modèles procéduraux (en étapes) d’autre part.

4.3.2. Modèles prescriptifs et descriptifs

Les modèles prescriptifs sont linéaires et séquentiels. Le processus de résolution de problème y suit un axe abstrait, généralement découpé en plusieurs phases : tout d’abord une première étape de génération de solution (partielle et intermédiaire), suivie par une évaluation de celle-ci qui mène à la génération d’une meilleure solution. Ces modèles couvrent rarement la globalité d’un processus de conception et se concentrent sur des aspects plus particuliers, comme par exemple la gestion des contraintes, (Darses, 1994), ou encore la réutilisation en conception (Détienne & Burkhardt, 2001 ; Visser & Trousse, 1993).

4.3.3. Modèles procéduraux (en étapes)

Les modèles en étapes présentent le processus de conception comme une suite de paliers qui sont traversés consécutivement, dans un ordre particulier (ce qui fait des modèles en étapes une sous-catégorie des modèles prescriptifs). Une fois translatée en méthode, chaque étape d’un de ces modèles doit être achevée avant que la suivante ne puisse commencer; et une fois une étape passée, on ne peut plus y avoir recours. Ces modèles procéduraux présentent donc les activités de conception comme une suite d’opérations qui doivent être

réalisées par le concepteur en vue de réaliser cette activité. Parmi les auteurs ayant contribué à la définition de ces étapes, on peut citer Blessing, (1994) qui en distingue 3 principales :

- i. La définition du problème, qui résulte en l'appréhension de celui-ci et d'une liste de pré-requis;
- ii. La génération de concepts et/ou de solutions;
- iii. La conception de détail et de finition, qui mène à une description complète du produit.

Bonnardel (2006) souligne que ces phases peuvent se chevaucher, que des représentations externes intermédiaires sont souvent utiles au concepteur afin de mieux appréhender la complexité du problème, se soulager d'une charge cognitive trop importante et de "redécouvrir" le problème sous un angle neuf.

Visser résume dans le tableau suivant les différentes étapes relevées dans la littérature :

Auteur ou Source	Etape 1	Etape 2	Etape 3
Simon	Structurer et analyser	Résoudre le problème	
Hamel	Analyser	Synthétiser	"Mouler"
Modèles classiques	Construction de la représentation du problème	Génération de la solution	Evaluation de la solution
Schön	Nommer/cadrer	Evoluer	Evaluer
De Groot	Perception et observation	Essayer	Evaluer
Jones	Analyser	Synthétiser	Evaluer
VDI Guideline 2221	Analyse du problème et définition	Synthèse du système	Analyse du syst., évaluation et prise de décision

Tableau 2 – *"The cognitive artefacts of designing"*, Willemien Visser, 2006, p. 34.

4.3.4. Exemples

Quelques illustrations d'un modèle prescriptif en étapes (Samuel & Weir, 1999) aideront à mieux comprendre les théories précédemment exposées. Le premier modèle présente la nature cyclique et interconnectée d'un processus qui, s'il constitue le squelette d'un projet, peut s'avérer particulièrement utile pour garder trace de toutes les étapes d'un projet et leurs interconnexions. Le second présente une version simplifiée, représentation linéaire d'un processus similaire. Cette abstraction du projet permet d'attirer l'attention du lecteur sur l'évolution "divergence/convergence" d'une résolution de problème. Il souligne également la nécessité, exprimée par certains auteurs, de séparer clairement les phases de génération de solution et d'évaluation.

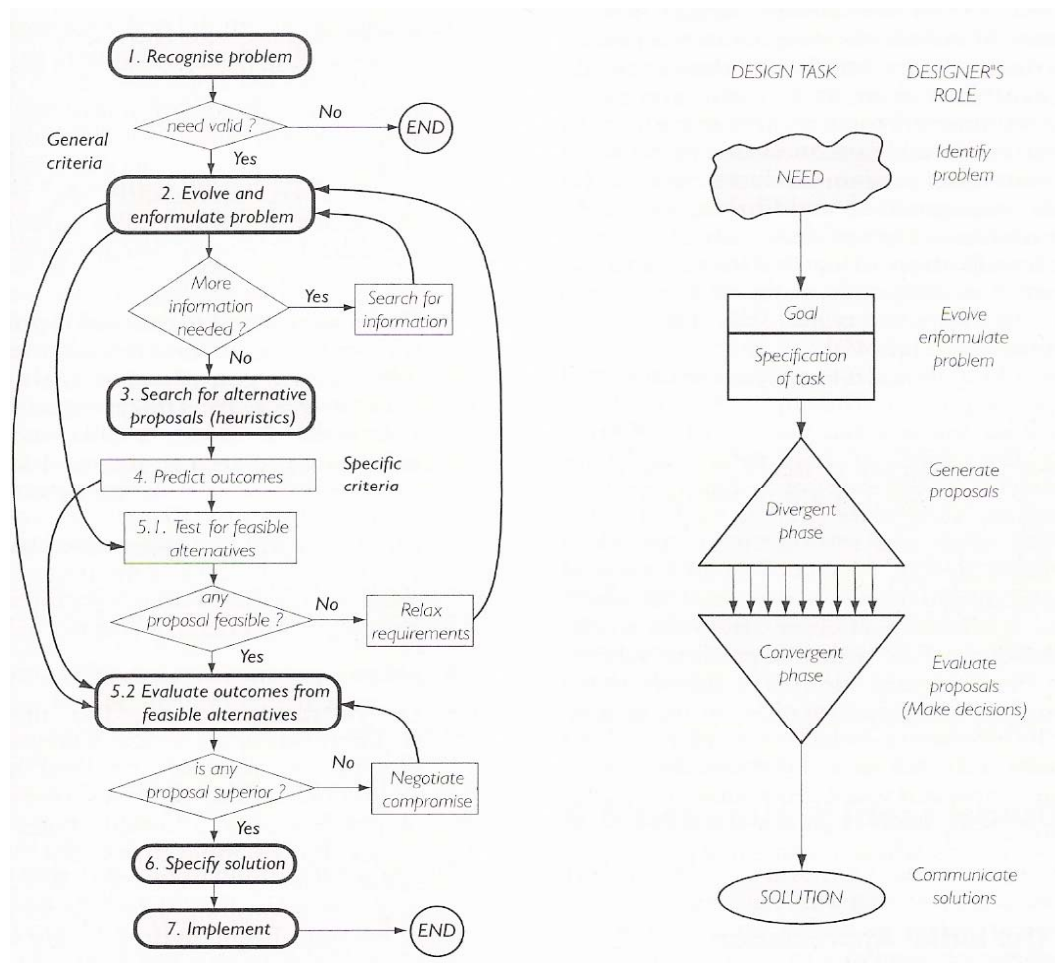


Figure 8 – Extraite du livre “Introducing to engineering design”, Andrew Samuel et John Weir, p. 293.

Ces diagrammes sont composés des étapes suivantes :

1. Reconnaissance du problème : déclaration de l’existence du problème à résoudre.
2. Evolution du problème et reformulation (en parallèle avec appréhension de la tâche de résolution) : le problème est alors “frontiérisé” et sa nature analysée, en tenant compte de son caractère incomplet et mal-défini.
3. Génération de la solution : la phase divergente de la résolution du problème est entamée, en étroite relation avec l’évolution de l’appréhension du problème.
4. Prédiction des résultats : modélisations mathématiques et estimations sont effectuées de manière à comparer les différentes alternatives possibles en termes de paramètres opérationnels. Cette phase est plus rarement appliquée.
5. Evaluation de la faisabilité des alternatives : les propositions qui répondent à la majorité des objectifs et qui contraignent les frontières du problème sont sélectionnées. On entre alors dans la phase convergente du processus de décision.
6. Spécification de la solution : les éléments de la solution finalement sélectionnée sont détaillés.
7. Implémentation: test du (des) prototypes et évaluation.

Cette variété de modélisations est résumée par Blessing (1995, dans Darses, 2004):

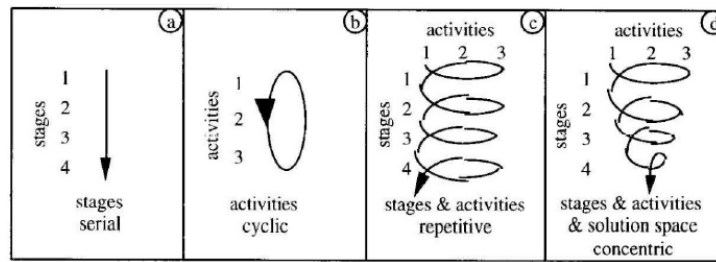


Fig 9 - Modèles itératifs du processus de conception, Blessing, 1995.

4.3.5. La conception vue comme une construction de représentations

Visser, après avoir fait ce point certes non exhaustif mais récapitulatif des principaux courants théoriques, présente son propre point de vue sur la question. Son équipe développe en effet une autre approche, qui conserve des travaux de Simon (et auteurs apparentés) l'importance donnée aux représentations internes des concepteurs. Ces représentations, même si elles évoluent sous l'influence des autres et des interactions avec l'environnement, ont le mérite de fournir une base à partir de laquelle les concepteurs peuvent eux aussi agir sur cet environnement. La théorie de la "solution satisfaisante" est également sélectionnée, ainsi que l'approche de l'activité de conception comme une activité cognitive plutôt qu'un statut professionnel.

En ce qui concerne l'approche SIT, elle adopte la définition que donne Schön d'une conception constituée de phases de définition de problème, structuration et redéfinition, soit les aspects d'appréhension active et constructive de la compréhension du problème (qui mènent à une constante évolution de la représentation de celui-ci). Pour elle, la décomposition va de pair avec la concrétisation : il n'existe pas de hiérarchie. Les designers ne suivent pas stratégie de décomposition systématique, mais peuvent tout de même, dans une certaine mesure, décomposer leur problème de manière à mieux planifier leur activité. Elle considère enfin comme décisives les couches émotionnelles et conceptuelles de la conception.

Elle donne également une nouvelle définition de la conception de manière à soutenir son propre modèle. Pour elle, "la conception consiste à spécifier un artefact en fonction d'impératifs qui indiquent - généralement jamais explicitement ni de façon complète - une ou plusieurs fonctions qui doivent être remplies, ainsi que les besoins et objectifs à atteindre, dans certaines conditions (exprimées par les contraintes). A un niveau cognitif, cette activité de spécification consiste en la construction (génération, transformation et évaluation) de représentations de l'artefact, jusqu'à ce qu'elles soient si précises, concrètes et détaillées qu'elles définissent explicitement et complètement l'implémentation de l'artefact¹⁰".

En conséquence, la perspective qu'elle adopte, soit de considérer la conception comme une construction de représentations plutôt qu'une résolution de problème, la mène à considérer les trois activités principales de conception comme une construction de représentations. En effet, c'est le concepteur qui, utilisant ses connaissances et ses propres représentations, doit lui même faire évoluer la situation : identifier et sélectionner les éléments, les interpréter et les transformer. La connaissance devient dès lors une ressource centrale dans la construction et l'utilisation de ces représentations. Elle argumente que la conception n'est qu'une suite de transformations de représentations (aucun autre élément ne peut surgir d'autres sources), et cette réutilisation de représentations peut avoir lieu dans au moins 5 phases :

- i. la construction d'une représentation d'un problème cible;
- ii. la réutilisation d'une ou plusieurs sources;
- iii. l'adaptation de ce matériau initial à la proposition de la solution cible;
- iv. l'évaluation de cette proposition;
- v. l'intégration, en mémoire, des représentations du problème et de la solution ainsi modifiées.

¹⁰ Traduit librement de l'anglais.

Aucune des théories fondatrices (SIP et SIT et apparentées) ne rend compte parfaitement de l'activité de conception : certes la conception est une résolution de problème, mais pas seulement. Les approches, considérées conjointement, mettent en lumière différents aspects d'étude (Norman, 1993). L'organisation séquentielle de certaines propositions ne tient pas compte de l'activité de conception réelle, qui ne suit que très rarement des séquences ainsi définies. Ces modèles, linéaires bien qu'insérant quelques boucles, restent en effet bien trop rigides et pauvres pour représenter réellement toute la richesse d'un processus créatif/de résolution de problème. Ils constituent néanmoins une première tentative de discernement des différentes étapes par lesquelles un designer peut passer pour faire évoluer une solution. Le choix d'un paradigme de recherche ou de conception dépendra donc des objectifs, de l'objet de l'étude, et, plus important, du type de conception observé.

4.4. Méthodologies et modes opératoires en conception

Avant de clôturer cette approche cognitive de la conception, introduisons les principaux outils pratiques que les concepteurs ont à leur disposition pour supporter le processus d'émergence créative. L'introduction de telles méthodes de travail peut se faire à deux niveaux (Cross, 2000).

Premier niveau : la formalisation des procédés. Cette formalisation permet au concepteur d'aller droit au but, évitant ainsi certaines redondances dans la réflexion et ouvrant les perspectives de faisabilité. Le second niveau est l'externalisation de la pensée à travers l'esquisse. L'extraction des réflexions internes vers le papier permet en effet de faciliter la communication avec des tiers et de libérer le concepteur d'un certain niveau de complexité. Deux méthodologies existent. Premièrement les "méthodes créatives" : (i) le brainstorming, qui aide à générer un grand nombre d'idées et (ii) les synergies, travail collaboratif sur une thématique spécifique. En second lieu, les méthodes dites "rationnelles", comme l'utilisation de check-lists, de matrices, ou d'arbres décisionnels. Ces méthodologiques s'adaptent à de nombreuses phases du travail : elles peuvent aider à :

1. clarifier les objectifs : les check-lists seront par exemple bien adaptées à établir des listes d'objectifs (aussi en sessions collaboratives), à discerner l'important du secondaire et à organiser les éléments en hiérarchies.
2. établir les fonctions : de même, on pourra lister les fonctions qu'un objet devra réellement remplir.
3. déterminer les caractéristiques : ici la matrice est conseillée. On la construit en général de la manière suivante : à la verticale, les demandes du client, à l'horizontale les contraintes d'ingénierie et de conception. Chaque compartiment exprimera alors une possible interaction et connexion, mettant en avant les éléments prioritaires et les décisions à prendre.

Parallèlement à ces méthodes de base, on peut trouver des structures plus complètes comme la Conception Centrée Utilisateur (méthode CCU, formalisée dans la norme ISO 13407), la Conception Participative (CP, méthode développée initialement en Suède), ou plus récemment encore la Conception Participative par Moments (se basant sur une syntaxe de type UML - Unified Modeling Language, voir les travaux de Caelen, 2009) ¹¹. D'après Cross, même si ces méthodes peuvent apparaître comme triviales de prime abord, elles permettent au concepteur de laisser l'acte créatif de côté pour un instant, afin d'y revenir plus tard avec une approche plus rationnelle et structurée. Elles constituent en somme des propositions de "bonnes pratiques de conception" (Blessing, 1994; Pahl & al, 1999, cités par Darses, Détienne et Visser, 2001).

¹¹ Bien d'autres méthodes de soutien aux phases créatives existent, comme la méthode TRIZ (acronyme russe pour "théorie de résolution des problèmes inventifs", de Altshuller), mais leur étude sort du cadre de ce travail.

4.5. La conception collaborative

Nous abordons ici les aspects “collaboratifs” de la conception. Les écrits à ce sujet balayent de vastes thématiques, et nous limitons en conséquence cette revue de question à la conception collaborative en situation synchrone et présentielle, telle que nous la rencontrons sur le terrain.

Les projets de conception, de plus en plus complexes, font appel à diverses compétences, parfois distantes, et il est rare qu’un produit reste actuellement le fruit d’une conception individuelle. La conception elle-même voit sa définition se modifier. Pour Folcher (2003, p. 665), “la conception apparaît comme la production des activités d’une communauté d’acteurs ayant des compétences, des origines et des préoccupations hétérogènes, tout comme la situation dans laquelle ils agissent et testent l’artefact conçu”¹². Theureau et Jeffroy (1994, dans Leplat, 2000) pour leur part soulignent que “l’activité collective reste une entité en tant que telle, qui ne se résume pas à la simple addition des individus qui la constituent”. Ils sont rejoints sur ce point par Decortis et Pavard (1994, dans Leplat, 2000): “(...) la structure globale de réalisation de la tâche va émerger des interactions locales des membres”.

Mais avant de considérer tous les aspects d’une conception collaborative, il nous faut nous pencher sur le vocabulaire des termes qui y sont reliés. Il subsiste en effet encore aujourd’hui une certaine difficulté d’homogénéisation des termes utilisés, ce qui s’explique, d’après Barthe et Quéinnec (1999) par l’extrême diversité des situations de travail et de modes de coopération examinés. Pour la désignation du groupe, nous opterons pour la terminologie “d’équipe (effective) de travail” de Leplat (1993, dans Barthe et Quéinnec, 1999), constituée des acteurs “réels”, c’est-à-dire exécutants de l’activité collective. Cette équipe, toujours selon le même auteur, effectue une activité collective, et ce dès que l’exécution d’une tâche entraîne “l’intervention coordonnée de plusieurs opérateurs”. Barthe et Quéinnec soulignent les deux aspects essentiels de l’activité collective inclus dans cette définition : les opérateurs se partagent la même tâche (même but commun, mêmes conditions de travail), et leurs activités sont interdépendantes. Le but général restant commun (interférences de buts au niveau des résultats, des procédures, facilitées par l’action du collectif), les sous-buts peuvent cependant varier entre acteurs. On parle alors tantôt de coaction (Leplat et Savoyant, 1983) ou de coopération distribuée (Rogalski, 1994, cités par Barthe et Quéinnec, 1999). Mais au vu du flou qui règne toujours autour de ces termes, et étant donné que le but ultime partagé est conscient (concevoir ensemble, en équipe, un produit), nous opterons pour les termes suivants :

- “co-conception” pour une résolution conjointe du problème, les objectifs personnels de chacun pouvant être distincts (échanges de point de vue et synchronisation vers une négociation et un choix, voir plus bas);
- “conception distribuée” pour les phases de résolution individuelle des sous-tâches attribuées (Darses et Falzon, 1996, in Darses, 2009);
- “coopération” lorsque les opérateurs partagent, pour un instant plus ou moins long, un objectif commun (participation à une oeuvre commune).

La notion de coordination sera également évoquée, processus par lequel les opérateurs coordonnent leurs actions, les agencent les unes aux autres en fonction des délais, de la logique opératoire et des moyens à leur disposition.

Tout comme pour l’analyse de la tâche individuelle, on distinguera les différentes composantes de l’activité collective (Leplat, 2000) : une composante orientée vers l’objet à traiter (matériel et symbolique), une autre orientée vers l’activité des autres (un opérateur dépend de l’activité des autres et influence à son tour la leur), et une composante orientée vers le(s) outil(s) médiateur(s) de cette collaboration. D’autres caractéristiques générées par le caractère collectif de l’exécution des tâches, et que nous nommerons “les modes de fonctionnement du collectif”, existent en parallèle :

¹² Traduit librement de l’anglais.

- la répartition des tâches, qui relève d'une part du niveau organisationnel mais peut aussi être issue des relations interindividuelles (Barthe et Quéinnec, 1999). Ces négociations informelles conduisent à ce que de Terssac (1992, cité par Barthe et Quéinnec, 1999) appelle une "organisation clandestine" du travail (notion mise en relation avec les marges de manoeuvre, l'autonomie);
- la communication au travers de divers "outils médiateurs" matériels ou non, tels que le langage, les représentations externes, les moyens de télé-communication,... Au travers de ces "hypercommunications" (Weil, 1999, dans Darses, 2009) va se développer un "langage opératif" (Falzon, 1995, cité par Barthe et Quéinnec, 1999), constitué de mots spécialisés qui simplifient et rentabilisent la communication.
- la construction d'un référentiel commun : le collectif, au fur et à mesure de sa tâche commune, va construire un référentiel commun, soit une "représentation fonctionnelle commune aux opérateurs, qui oriente et contrôle leur activité individuelle au sein de l'activité collective" (Leplat, 2000, p.112). Cet auteur parle également "d'intersection des représentations fonctionnelles des opérateurs participant à la tâche collective", intersections qui peuvent mener, comme nous le verrons plus tard, à des interprétations hasardeuses. Ce référentiel commun constitue une synergie de données et de connaissances partagées, accessibles à tous, et est construit principalement lors des "activités de synchronisation". Cette "zone de partage" prend plusieurs dénominations suivant les auteurs : représentation fonctionnelle partagée (Leplat, 1991; Grusenmeyer, 1995); référentiel opératif commun (de Terssac et Chabaud, 1990), ou encore image opérative collective (Troussier, 1990).
- ces activités de synchronisation cognitive, comme l'expliquent Darses, Détienne et Visser (2004), se construisent principalement lors d'évaluations mutuelles, de réajustements, d'apprentissages par un partage de connaissances (buts, connaissances du domaine ou pratiques de conception). Y concourent également les négociations, le partage des points de vue (voir à ce propos les travaux de Wolff & al, 2005; Darses, Détienne, Falzon & Visser, 2001 et Amalberti, Falzon, Rogalski et Samurçay, 1992, cités par Darses 2009) et l'enrichissement des solutions proposées. Ces activités seraient "l'épine dorsale de la résolution collective d'un problème de conception" (Darses, 2004). Notons au passage que cette synchronisation cognitive et ce partage d'un référentiel commun, de plus en complexe et complet au fur et à mesure que les projets s'enchaînent, mèneront à des redondances, qui permettront aux concepteurs de détecter certaines erreurs (Hutchins, 1995).
- des phénomènes de régulation apparaîtront également, par "cumul ou transfert des tâches" (Navarro, 1991), régulation de données "externes" (liées aux conditions de travail et aux flux de données) ou "internes" (relatives aux différences des individus).

Enfin, nous n'oublions pas les processus rassemblés sous le thème de "phénomènes de groupe". Cette couche relationnelle, extrêmement importante pour l'étude de la construction d'un collectif par exemple, ne sera pourtant pas considérée en profondeur dans le cadre de ce travail¹³. Pour conclure, nous emprunterons à Barthe et Quéinnec (1999) le schéma suivant, présentant une vue globale intéressante des différents niveaux d'interactions présents lors d'un travail collaboratif - de conception distribuée.

13 Le collectif examiné lors de notre étude sur le terrain travaille en effet depuis 2 ans ensemble. Dès lors, les données relatives aux relations interpersonnelles, concurrences, ... seront plutôt considérées comme un "item d'entrée", construisant les contextes de travail. Seul le leadership pourra apparaître de façon plus récurrente, car il impacte directement, comme nous le verrons, la répartition des tâches et l'utilisation des outils et représentations de la médiation.

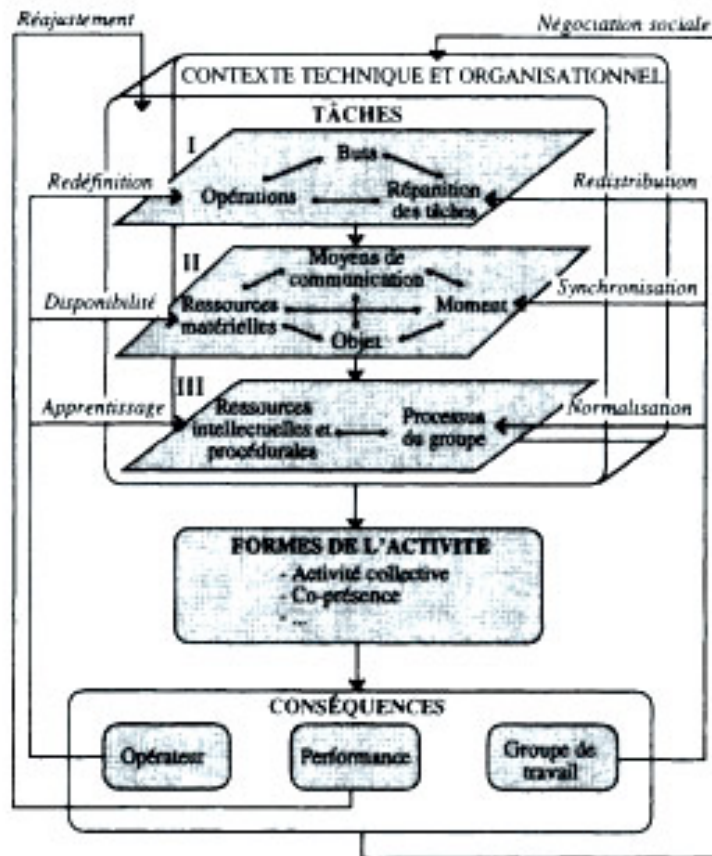


Fig 10 - Barthe et Quéinnec - Composantes collectives des tâches dans un groupe d'opérateurs, formes de l'activité mise en place et conséquences sur les opérateurs, la performance et le groupe. (Barthe et Quéinnec, 1999, p.681).

4.6. La médiation de l'activité par l'usage des artefacts

Le terme “artefact” sera quelque peu détourné de sa définition usuelle pour désigner à la fois l'outil et/ou la représentation externe produite, utilisés par le concepteur dans la relation entretenue avec lui-même ou avec l'autre. La théorie de l'activité médiatisée par les instruments inspirera notre méthode d'analyse de ces artefacts médiateurs, et l'examen des schèmes d'utilisation des outils, avec leurs avantages et limitations, nous aidera à comprendre dans quelle mesure ils ont impacté les réalités métier du design industriel.

Cette approche, comme le rappellent Folcher et Rabardel (2004) permet par ailleurs (i) d'organiser les processus de conception en fonction des schèmes sociaux réels d'utilisation des artefacts; (ii) de concevoir des artefacts adaptés, “plastiques”; (iii) de s'inspirer, pour la mise au point d'outils et d'utilisations, des genèses instrumentales développées par les utilisateurs. Nous tenterons d'adapter ces principes à nos recherches de terrain.

Bourmaud (2006) résume les 6 principes de base de la “théorie instrumentale” (Rabardel, 2001; Rabardel et Waern, 2003, cités par Bourmaud, 2006), soit:

- principe 1 : personal vs system view
- principe 2 : asymétrie entre le sujet et l'artefact
- principe 3 : les artefacts comme médiateurs de l'activité
- principe 4 : dimensions sociales et culturelles des artefacts
- principe 5 : artefacts comme objets en développement
- principe 6 : dépendance aux situations

Nous retiendrons dans la discussion la médiation (principe 3) et la dépendance aux situations (principe 5). Les autres aspects seront soit considérés comme une base évidente d'étude (principes 1 et 2); soit comme non déterminants dans ce cas précis de l'étude (principe 4); soit comme difficilement appréhendables dans le laps de temps à disposition (principe 5).

La médiation peut prendre 3 orientations (Rabardel, cité in Bourmaud, 2006), et, tout comme pour la théorie de l'activité sur laquelle cette approche se base, ces trois pôles constituent ainsi un "triangle de médiation", mieux connu sous l'appellation de "modèle SAI" :

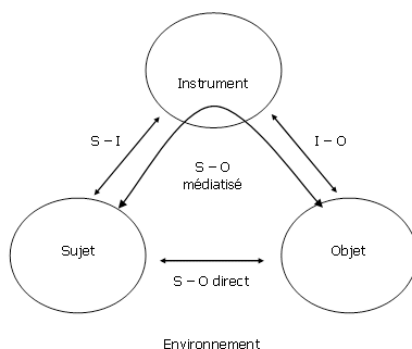


Fig 11 - Modèle SAI, "Situations d'activités instrumentées", Rabardel.

Ce modèle fait acte de trois types de médiations possibles :

- médiation vers l'objet de l'activité, soit la "médiation à l'objet"

cette médiation peut être (i) épistémique : le sujet prend connaissance de l'objet, de ses propriétés etc.; (ii) pragmatique : le sujet agit sur l'objet ou (iii) heuristique : le sujet gère sa propre activité grâce à l'objet, l'oriente et la contrôle (Béguin et Rabardel, 2000).

- médiation vers les autres, soit la "médiation interpersonnelle"

L'activité d'un sujet, principalement en conception, est en effet dirigée vers les autres (Clot, 1995, cité dans Bourmaud, 2006). Cette médiation peut également présenter un caractère épistémique et pragmatique.

- médiation vers le sujet lui-même, soit la "médiation réflexive"

Vygotski donne à ce sujet l'exemple bien connu du noeud de mouchoir, qui est destiné à rappeler au sujet qu'il doit se souvenir de quelque chose. Cette médiation réflexive se retrouve également dans le rapport du concepteur à sa propre réalisation, au travers des représentations externes (cfr. théories du "voir-transformer-voir" de Schön).

Notion d'instrument.

Le concept d'artefact comme élément isolé ne suffit pas pour retracer efficacement une médiation de l'activité. C'est pourquoi le modèle SAI fait appel à la notion d'instrument. Celui-ci, comme le propose Rabardel, sera vu comme l'association d'un artefact (matériel, cognitif, psychologique ou sémiotique) et d'un schème.

Les schèmes sont définis, selon la tradition piagétienne, comme un "ensemble structuré des caractères généralisables des activités d'utilisation des instruments. Ils permettent au sujet d'engendrer les activités nécessaires à la réalisation des fonctions qu'il attend de l'usage de l'instrument" (Rabardel, 1995). Les schèmes peuvent être (i) d'usage : lorsque le sujet est en interaction avec l'artefact (Folcher et Rabardel, 2004); (ii) d'action instrumentée : les schèmes sont dirigés vers l'atteinte du but poursuivi par l'action et (iii) d'action collective instrumentée (Folcher, 1999; Cerrato, 2003, in Bourmaud, 2006) : lorsque l'artefact est utilisé par plusieurs sujets, simultanément et conjointement.

L'utilisateur va pouvoir mettre ces schèmes en oeuvre selon deux processus : soit l'assimilation, où le sujet applique des schèmes identiques à des artefacts différents, soit l'accommodation, où le sujet puise dans ses schèmes personnels qu'il adapte à des situations nouvelles en les transformant et réorganisant. Les schèmes peuvent être inférés à partir de l'activité observée, en mettant en évidence les invariants de cette activité.

On ne peut aborder ces théories sans dire un mot des :

- genèses instrumentales, concept qui englobe les catachrèses de Lefort (1978 et 1982); Faverge (1977) et Rabardel (1995, cités par Bourmaud, 2006) dans une vision chronologique à plus longue durée;
- phénomènes d'instrumentalisation, soit "l'enrichissement des propriétés de l'artefact par le sujet" (Rabardel, 1995, p.140).
- et d'instrumentation, qui concerne l'émergence et l'évolution des schèmes d'utilisation.

Enfin, le caractère redondant des systèmes d'instruments sera considérés dans cette étude. En effet, "chaque outil remplit généralement sa ou ses fonctions formelles, mais aussi d'autres fonctions. Une certaine redondance est ainsi introduite par l'opérateur dans son outillage (...) qui est ainsi restructuré et organisé et forme un ensemble homogène où se réalise un meilleur équilibre entre les objectifs d'économie et d'efficacité" (Rabardel, 1991, p.128, Vidal-Gomel, 2001-2002, cités par Bourmaud, 2006).

Les aspects présentés ici constituent pour la suite du travail des pistes possibles d'examen des situations. Nous sommes cependant conscients que certains d'entre eux, ancrés dans une vision à plus long terme, seront difficilement captés dans les conditions qui sont celles de cette recherche.

4.7. Les représentations "artefactuelles" externes

L'utilisation des outils dans le cadre particulier de notre recherche est imposée par les contextes de travail et de formation. Les représentations attirent en conséquence plus notre attention car elles sont directement liées à l'activité des concepteurs et sont plus tributaires du travail réel.

Du latin "*repraesentare*", la représentation rend présente une chose absente de notre champ perceptif. La notion de représentation a fait l'objet de nombreux débats en sciences cognitives, qu'il s'agisse de représentations dites "externes" ou "internes" (percepts, images mentales, modèles mentaux) (Visser, 2009). Les études ergonomiques du concept de représentation telles que nous les considérons ici se fondent pour la plupart sur les travaux d'Anderson (1983), Rasmussen (1983, 1986) et Ochanine (1978) (cités par Wolff & al, 2005). Leurs caractéristiques sont nombreuses et nous les résumons ici :

- les représentations intermédiaires de l'objet à concevoir aident le concepteur à évaluer ses solutions partielles (Darses, Détienne et Visser, 2004) et peuvent être de divers types selon l'état d'avancement du projet : dessins, plans, scénarios, maquettes et prototypes, maquettes numériques, ...
- selon les mêmes auteurs, ces représentations assurent des fonctions de référentiel opératif commun (construction d'une inter-compréhension de la situation et stabilisation des buts partagés); elles permettent l'opération des simulations et le test des spécifications auxquelles doit répondre l'objet de la conception;
- Lebahar (2007) ajoute que ces représentations fournissent au "sujet concepteur" ses principaux moyens de contrôle et de régulation de son activité;
- ces représentations constituent également des filtres guidant le concepteur dans la perception du problème qu'il a à maîtriser (Garrigou & al, 1995);
- elles peuvent présenter un caractère figuratif, opératif, déclaratif ou procédural (Leplat, 2000).

Un des auteurs les plus fameux à s'être penché sur la question est Lebahar (2007), qui va jusqu'à dire "qu'analyser l'activité du SC (sujet-concepteur) revient essentiellement à analyser des représentations, ainsi que des raisonnements et procédures qui permettent de les construire ou de les transformer". Visser (1999, dans Darses, Détienne et Visser, 2004) souligne cependant que l'analyse des représentations pour elles-mêmes ne suffit pas : c'est vers les processus par lesquels ces représentations ont été formées, et les outils

utilisés qu'il faut se pencher, ces aspects restants encore trop souvent implicites et ne participant pas de ce fait à la construction d'une logique interne de conception.

Les représentations, comme tout champ d'étude complexe, ont été listées et classées de diverses manières. Lebahar (2007) liste plusieurs types de "registres" de dessins, que nous pensons pouvoir adapter au champs plus large des représentations externes :

- registre topologique : permet au sujet concepteur d'atteindre un certain niveau d'abstraction en objectivant ses images et représentations mentales (internes);
- registre projectif : "images d'objets qui coordonnent l'ensemble des parties abstraites évoquées dans le registre topologique, en une totalité figurale (image), qui ne tient absolument pas compte des mesures exactes des distances et des angles. Celle-ci respecte les proportions approximatives mais demeure déformable, au gré des hypothèses du sujet-concepteur, tout en conservant fixes les relations topologiques entre ses parties";
- registre euclidien : le sujet concepteur fixe alors les invariants géométriques (cotation des angles et des distances) et son dessin (par extension, sa représentation) en devient "indéformable".

Parallèlement à ce classement "sémantique" des représentations, Vinck et Laureillard (1996) proposent un classement plus "opératif". Les représentations peuvent ainsi endosser une fonction:

- de rétrospection : "porte-parole" de celui qui l'a façonnée;
- de prospection : porte-parole d'un objet en train de naître;
- commissionnaire : véhicules d'intentions;
- de médiation : les représentations "trahissent et transforment" les intentions de leurs auteurs;
- prescriptive : les représentations permettent d'imposer des choix, de défendre son point de vue;
- de facilitation des interactions, confrontations et interprétations. Nous notons cependant qu'à notre connaissance, ces interprétations peuvent s'avérer abusives.

Enfin, l'approche pragmatique des représentations de Klaus (1974); Buyssens (1973) et Borzeix, (1994, cités dans Lebahar, 2007) s'intéresse à l'usage que le sujet concepteur fait de la représentation, qu'il s'agisse (i) de coder la situation afin de la transformer ou de (ii) produire des messages destinés à influencer d'autres sujets. On retrouve dans la première classe d'objectifs les images opératives, et dans la seconde les stratégies graphiques employées pour influencer d'autres personnes et orienter leurs actions vers certains objectifs.

C'est donc une approche anthropocentrée construite autour des "objets" qui sera privilégiée tout au long de ce travail. Ces objets restent à nos yeux d'ingénieur/concepteur le moyen le plus efficace d'approcher les diverses épaisseurs du processus de conception. Nous rejoignons ici Lebahar (2007, p.46), qui interprète la situation observée "comme la construction progressive d'une représentation définitive d'artefact s'appuyant, tour à tour, sur des résolutions de problèmes partiels mais aussi sur des cycles d'interaction entre le sujet-concepteur et la situation de conception". L'utilisation, l'enchaînement, les modifications des entrées "objets" mettent en évidence les nouvelles caractéristiques du métier de designer industriel, et permettent de comprendre la modulation engendrée dans la répartition des tâches et le mode de fonctionnement du collectif. Nous optons donc, parmi les approches possibles des relations homme-machine, pour "la médiation de l'activité par l'usage des artefacts" (Folcher, Rabardel, 2004), qui nous semble en effet la plus judicieuse étant donné le caractère hautement multidisciplinaire de l'activité étudiée. Les modèles de l'interaction homme-machine et des systèmes hommes-machines, bien que complémentaires à la précédente, ne seront pas investigués ici.

4.8. Les outils médiateurs

Les domaines de la conception généralement examinés - architecture, ingénierie, design de produit ou industriel, ... - listent un nombre relativement important d'outils exploités :

- les outils usuels de communication : téléphone, fax, mail, ...;
- le dessin formel, conceptuel et technique, et les annotations: sur un simple support papier, ils permettent de développer et faire évoluer les premiers concepts, en phase préliminaire d'idéation;
- les outils de CAO: les divers logiciels disponibles sur le marché (par exemple, AutoCAD, ArchiCAD, Pro Engineer, Rhinocéros, Studio Max 3D, Catia, Cinema 4D, ...), dont l'utilisation est la plus souvent attendue dans les phases ultérieures de la conception;
- les maquettes : non fonctionnelles, parfois réalisées à l'échelle 1/1 dans les matières les plus diverses, elles sont utiles en phase d'évaluation du projet via l'approche à la matière et à la volumétrie qu'elles proposent;
- les prototypes : fonctionnels, ils peuvent être produits grâce aux techniques très pointues de prototypage rapide (laser, imprimantes 3D, ...), pour tester certains aspects fonctionnels du projet.

Les deux derniers outils cités, soit les maquettes et les prototypes, font état de l'étroite imbrication qui peut exister entre le concept d'outil et de représentation externe : la maquette, au fil de sa réalisation, est à la fois "outil" de la conception et "représentation" (intermédiaire) du produit final.

La liste ci-dessus ne fait pas état de tous les outils disponibles : certains concepteurs ont recours aux montages vidéo, à la peinture, à la sculpture également. Nous développerons, dans les deux prochaines sections, l'étude du dessin à main levée et la CAO, qui sont les plus fréquemment utilisés par les concepteurs rencontrés tout au long de cette recherche.

4.8.1. Les outils "traditionnels" : dessin papier/crayon, maquettes, prototypes

Le processus de conception étant avant tout un processus orienté vers la recherche d'un résultat inconnu, il semble difficile pour un grand nombre d'auteurs de l'outiller uniquement avec des logiciels qui requièrent une définition précise et détaillée du moindre élément à modéliser. C'est pourquoi les concepteurs font toujours appel à des techniques dites plus "traditionnelles", médiateurs intermédiaires capables de soutenir efficacement le processus cognitif de la création (Goldschmidt 1994, Goel, 1995, Suwa & Tversky, 1997, Suwa, Purcell & Gero, 1998, cités dans Bilda & Gero, 2006). Ces études, dont l'objectif avoué est la mise au point de systèmes d'interaction homme-machine capables de soutenir le concepteur dans son idéation, se penchent notamment sur les contenus graphiques de l'esquisse et sur ses fonctionnalités au sein du processus de conception. Ce terme "d'esquisse", qui désigne en général le "croquis" (sketch), sera ici exploité dans sa sémantique "cognitive" (l'esquisse d'une idée, d'un concept), tandis que le terme "dessin" sera conservé pour l'artefact matériel (représentation graphique externe).

Les dessins sont classés de diverses façons. Si on s'intéresse au dessin conceptuel ou technique "à main levée", trois principaux types peuvent être listés :

- i. Le dessin personnel, qu'il soit conceptuel, formel ou technique : il est utilisé pour supporter la projection personnelle et l'évolution du produit de sa conception. Cette représentation, souvent vague et incomplète, avec des contenus présentant parfois un haut degré d'implicite, est essentielle pour la recherche visuelle identitaire de l'objet.
- ii. Le dessin de communication, ou dessin synthétique : le dessin devient ici un moyen de communication. Des traits plus gras, ou "cristallisés", soulignent généralement les solutions graphiques qui seront conservées et présentées aux collaborateurs (Leclercq, 2007). Cette "cristallisation" peut être définie comme étant un gel de définition des attributs.

- iii. Le dessin “pense-bête” (ou “conservé”) permet au concepteur de proposer rapidement plusieurs idées, analogies, qui seront stockées et éventuellement réutilisées plus tard. Ce dessin a en commun avec la catégorie précédente ce “gel” - temporaire - du processus de conception matérialisé par des traits cristallisés.

Les contenus et caractéristiques du dessin.

Il existe autant de types de dessins que de dessinateurs ¹⁴. Quelques constantes existent pourtant. En terme de contenu, le dessin est composé de quelques éléments type: une grande quantité de traits, plus ou moins flous, plus ou moins distincts les uns des autres et toujours redondants, des points, des croix, des hachures, des flèches, symboles divers, ombrages, niveaux de gris ou de couleurs, ... Ils présentent néanmoins très rarement une unité d'échelle constante. Les annotations, étudiées par Zacklad et al (2003) notamment, sont toujours présentes, sous forme de notes, texte plus complet, listes, calculs et petits schémas secondaires. Ces annotations contribuent sémantiquement au dessin auquel elles se réfèrent. Parmi les principales caractéristiques du dessin, retenons les suivantes :

- le dessin doit suivre le courant rapide des pensées et se base dès lors toujours sur des principes d'économie (Leclercq, 2005): symboles, métaphores, lignes appartenant à deux ou plusieurs dessins, haut degré d'implicite, ... Le dessin présente cette caractéristique lacunaire typique, associée à une redondance paradoxale, qui le rend totalement compréhensible uniquement par son auteur;
- le dessin est d'autant plus précis que le modèle mental de l'objet conçu se développe (Lebahar, 1983);
- avant d'entamer son dessin et durant une majeure partie de la conception, le concepteur ne connaît pas le résultat de ses réflexions. Ceci explique le caractère hautement instable des dessins : ils sont modifiés, gommés sans jamais être totalement oubliés (la “mémoire du papier”), et présentent un bas niveau de structuration;
- ils restent “virtuels” dans le sens où ils n'existent jamais tout à fait.

Avantages du dessin.

Le dessin constitue un outil puissant de support à l'idéation. Utilisé par un grand nombre de concepteurs, il permet d'évaluer et reconnaître l'objet représenté, d'extraire et déduire de cette représentation de nouvelles significations qui sous-tendent l'externalisation suivante. Les avantages (et, plus bas, limitations) qui ont été listés jusqu'alors sont fréquemment mis en parallèle avec ceux des outils de CAO. Nous verrons plus tard que c'est de leur caractère complémentaire que pourrait provenir cette paradoxale confrontation.

Ainsi, le dessin :

- constitue une aide mnémonique (Scaife & Rogers, 1996);
- soulage la mémoire spatiale et visuelle (Bilda & Gero, 2005) et constitue une véritable “mémoire externe”. D'après le prédictat de Vicente et Rasmussen (1990), le pouvoir créatif de la pensée serait en effet relatif à l'allègement de la charge mentale. Le fait de dessiner pourrait donc soulager la concentration, et libérer de ce fait des ressources pour la créativité;
- supporte la coordination et la communication rapide (ne nécessite pas une explicitation de tous les détails);
- facilite la structuration du processus conceptuel, en conférant à l'exploration simultanée de l'espace problème/solution un contexte harmonieux. Il aide le concepteur à identifier les conséquences de ses choix, maintenant l'exploration dans une dynamique continue jusqu'à la convergence vers un double problème/solution satisfaisant (Cross, 2000);
- permet d'appréhender des systèmes trop complexes, trop larges ou insuffisamment compris;
- facilite l'appréhension de signifiants sémantiques;

¹⁴ Il n'existe aucune règle en matière de dessin. Quelques prémices théoriques et techniques existent, proposés par les Gestaltistes ou par de talentueux artistes (voir les travaux de Francis DK Ching), mais chaque dessinateur doit développer son propre “coup de patte”.

- provoque des découvertes inattendues et nourrit littéralement le processus de conception. Egalement connu suite à la théorie de Schön du “voir-transformer-voir”, ce phénomène est rendu possible grâce au caractère vague et implicite du dessin;
- la conception n’étant pas un processus strictement hiérarchique, bien qu’il existe quelques décisions pré-définies structurantes, le dessin permet au concepteur de se mouvoir librement entre les différents niveaux de détail et d’abstraction (Cross, 2000);
- le dessin supporte enfin la création de systèmes de référence communs et facilite le travail collaboratif (Détienne & al., 2007).

Limitations du dessin.

On retiendra :

- le caractère “rigide” et statique du dessin : un seul concept émerge à chaque création et la représentation graphique n’est pas réactive;
- le dessin n’est pas strictement standardisé, et les dessins personnels sont particulièrement complexes à faire comprendre parfois, particulièrement par des collaborateurs non expérimentés (Leclercq, 2005);
- l’activité de dessin peut consommer beaucoup de temps, bien que cette “lenteur” d’exécution soit vue par certains d’auteurs comme une opportunité pour la conception, parce qu’elle impose un temps de réflexion nécessaire à la maturation, à l’émergence et au contrôle des idées.

4.8.2. Les outils de Conception Assistée par Ordinateur

La conception assistée par ordinateur (CAO) est communément définie comme l'ensemble des logiciels et des techniques de modélisation géométrique permettant de concevoir, de tester virtuellement et de réaliser des produits manufacturés à l'aide d'un ordinateur et des techniques de simulation numérique. Ces outils se multiplient et les possibilités sont telles aujourd’hui que le concept lui-même se voit multiplié et adapté à toutes les situations de conception au sens large du terme. On liste par exemple des outils de PAO (Production Assistée par Ordinateur), MAO (Manipulations Assistées par Ordinateur), DAO (Dessin Assisté par Ordinateur)... Nous présenterons ici les principales catégories de logiciels existants. La description complète de chaque produit sur le marché présenterait en effet peu d’intérêt (les principes de base étant identiques), et ce sans oublier qu’à l’heure où ces pages seront imprimées les versions de ces produits auront déjà grandement évolué.

Les software de Conception Assistée par Ordinateur peuvent être catégorisés comme suit :

- Les outils de mise en plan, très puissants pendant les phases de production : ils sont utilisés pour la définition détaillée du produit de la conception, chaque élément étant conçu dans le moindre détail et les dimensions étant fixées. A ces outils peuvent s’ajouter de nombreux outils d’évaluation, comme des calculateurs de coût, des évaluateurs de résistance thermique, structurelle, ou encore des aides à l’industrialisation. En raison de leur haut degré de précision, chaque action opérée par ce type de logiciels doit être déclarée de façon la plus complète possible: les descriptions floues et incomplètes, les formes plus libres, pourtant propres au stade de pré-conception, n’y trouveront pas leur place.
- Les outils de modélisation et de rendu visuel : ces outils permettent d’approcher le rendu visuel final de l’objet, tant 2D que 3D, de présenter virtuellement son interaction avec l’environnement (lumière et ombres, réflexions, textures) et son mode de fonctionnement. Aucun modèle technologique précis ne doit sous-tendre cette visualisation cette fois. L’objectif est de produire une image si proche de l’aspect réel du futur objet que tout autre modélisation et/ou prototype en devienne inutile.
- Les outils de mise en situation et visualisation, qui permettent des manipulations dynamiques 2D et 3D, sans modification de l’objet. Ces outils sont particulièrement efficaces comme soutien à la communication.

Les instructions de base sont relativement similaires, en tout cas pour les deux premiers types d’outils. Ils permettent :

- de dessiner en plusieurs échelles, et sur plusieurs calques virtuels;
- d'utiliser des codes de dessin pré-définis et standardisés;
- de combiner certaines formes de base (connections de face, booléens, ...);
- de modifier, copier et coller, faire des symétries, ajouter, corriger, traduire, tourner, supprimer, projeter, de volumes, faces ou traits;
- de transformer des typologies : suppressions, coupes, intersections, ...;
- d'utiliser des formes prédéfinies et paramétrables, ou d'en créer qui seront ajoutées à une bibliothèque de base;
- de concevoir en respectant certaines proportions et cotes, ou au contraire de modéliser en échappant complètement à ces considérations dimensionnelles;
- de communiquer aisément avec le monde et de transmettre et échanger de l'information.

Les modifications de chaque élément peuvent influencer ou non les pièces connectées. De multiples points de vue peuvent être immédiatement générés et comparés, des rendus visuels divers sont proposés (larges palettes de couleurs, types de traits, degrés d'opacité, ...).

Diverses techniques de modélisation et de génération d'image existent, distinguées selon le procédé de génération de la forme : extrusion, "box modelling", "surface modelling", ... Les désignations sont nombreuses mais correspondent en réalité à deux méthodes:

- **Modeleurs géométriques** : ces modeleurs se construisent sur base de volumes pré-définis¹⁵. Les formes disponibles sont géométriquement basiques, peuvent être juxtaposées, combinées via des opérations booléennes¹⁶ ou déformées, afin de construire des éléments plus complexes. Ces modeleurs sont en général utilisés dans des contextes industriels jonglant énormément avec des éléments répétitifs et standardisés (boulons, tubes, ...) mais ne sont pas adaptés pour la génération de formes libres.
- **Modeleurs surfaciques** : l'utilisateur doit créer ou importer un groupe de points (coordonnées calculées, transférées, mesurées), le modeleur générant une surface 2D structurée (en triangles ou polygones, ces surfaces sont dites "meshées", de l'anglais "meshed surface") par interpolation mathématique. Les volumes en révolution ou surfaces extrudées sont également très courantes.

Avantages de la CAO.

On ne peut nier l'incroyable potentiel des outils CAO existants ni les possibilités techniques offertes aux concepteurs. En tant que puissants et rapides calculateurs, ils permettent aux concepteurs d'obtenir quasi instantanément, pour peu que la modélisation effectuée soit correcte et suffisamment précise, des résultats fiables en termes d'optimisation, paramétrage et vérification de nombreux facteurs. On leur reconnaît de plus les avantages suivants :

- le premier, et non des moindres, est le niveau de complexité que le produit de la conception peut atteindre. Toutes les formes et toutes les configurations sont permises, dépassant ainsi de beaucoup les possibilités mentales de visualisation spatiale du concepteur. L'ordinateur peut non seulement supporter la visualisation de ces constructions complexes mais aussi en assurer l'étude technique de faisabilité. Les outils CAO élargissent ainsi les frontières du possible en conception, les contraintes de coût, de faisabilité de production et d'utilisabilité les maintenant néanmoins dans des limites acceptables;
- L'implantation de systèmes CAO au sein de la communauté des métiers de la conception a permis d'unifier les codes graphiques utilisés et de faciliter la communication technique des projets;

¹⁵ ...qui sont traduits en formules mathématiques, définissant chaque point par leur trio de coordonnées dans l'espace.

¹⁶ Les opérations booléennes permettent de construire des formes complexes grâce à des opérations de calcul très simples : union, différence de deux volumes, ou volume résultant de leur inter-connexion.

- Avec une formation suffisante, le concepteur peut, dans un laps de temps acceptable, obtenir une vue précise et tridimensionnelle de l'objet conçu. L'objet peut ainsi être évalué, appréhendé dans une globalité virtuelle plus difficilement atteinte via d'autres outils.

Limites de la CAO.

Malgré la multitude des recherches déjà effectuées, et malgré les divergences d'opinion qui peuvent survenir entre certains auteurs, un consensus semble apparaître en ce qui concerne la Conception Assistée par Ordinateur : celle-ci, bien que constituant un outil puissant de production et de rendu, ne soutient toujours pas efficacement les phases préliminaires de la conception. Les principales limitations listées dans la littérature, souvent mises en perspective avec les possibilités offertes par les outils dits plus "traditionnels" (papier/crayon, maquettes, ...), sont les suivantes :

- trop complexe, la CAO éloigne le concepteur de sa tâche de conception;
- les interfaces de la CAO, pour la plupart basées sur la technologie WIMP (Windows-Icon-Mouse as Pointing Device) sont difficiles à manier, ne correspondent pas aux habitudes ancrées de l'utilisation papier/crayon;
- ces outils sont en général très difficiles à appréhender dans leur globalité: utilisation en simple état de praticien requiert 2 à 3 ans de formation intense;
- ces outils reposent sur un processus certes très simple de déclaration d'intention, mais qui ne correspond cependant pas aux processus hautement opportunistes, flous et itératifs des processus de conception tels qu'ils ont été observés lors d'une pratique plus centrée sur le papier et le crayon;
- certaines recherches font état d'une baisse de qualité dans les résultats d'une conception menée grâce à la CAO: le nombre de solutions investiguées serait plus limité, les concepteurs étant amenés à cristalliser et approfondir plus rapidement une seule solution, examinant moins les champs des possibles qu'avec une technique papier/crayon. Ce phénomène, appelé "*premature fixation*", est également vu par certains défenseurs comme le moyen de limiter le concepteur efficacement dans l'exploration de l'espace problème pour une résolution plus rapide (Robertson & Radcliffe, 2009);
- dans le même ordre d'idées, le processus de résolution de problème/génération des solutions serait moins richement structuré, l'effort cognitif de l'opérateur étant dévié de cette tâche principale vers les problèmes provoqués par l'interface ou l'outil lui-même;
- ce manque de structuration apparaît également dans la gestion des documents relatifs à la conception : pertes, dysfonctionnements chronologiques dans le classement des "versions", problèmes de transferts, pertes et incompatibilités, ...;
- des modes opératoires récurrents, tels que l'acte correctif ou la suppression, apparaissent plus dans l'utilisation de la CAO que dans l'utilisation du papier et du crayon;
- la CAO, de par sa complexité, peut parfois mener à des opérations très coûteuses en temps, en coût humain et économique également;
- une certaine "inertie" pourrait apparaître chez le concepteur au travers de l'utilisation de l'informatique : là où il aurait auparavant mis plus d'énergie dans l'exploration de l'espace problème/solutions, il se concentrerait plus aujourd'hui sur la résolution de problèmes plus banals provoqués par l'informatique. De plus, cette inertie "micro" s'accompagne d'un phénomène plus "macro": les utilisateurs, une fois habitués à un outil particulier, ne feraient plus l'effort d'en appréhender un autre, parfois pourtant moins complexe. De véritables effets de monopole se dégagent ainsi, laissant le marché dans une inertie totale soumise aux pressions économiques et industrielles.

Les produits de la CAO

Il se dégage des points précédents plusieurs lectures de la CAO et des productions de celle-ci. Le "modèle CAO" peut en effet consister

- i. en l'outil lui-même, avec son interface homme-machine, ses modalités d'utilisation et de partage, les techniques de modélisation utilisées;
- ii. en l'artefact "cognitif", support visuel d'une conception virtuelle, 2D ou 3D;

- iii. en une production artefactuelle matérielle, telle qu'une impression 2D graphique ou une impression 3D (stéréolithographie, coupes laser, ...), que nous désignons donc sous le terme de "représentation externe".

Cette "polysémie" courante du terme de "modèle CAO" devra être considérée plus tard comme un indicateur de la multiplicité des significations possibles pour le concepteur. La CAO, via les multiples et nouvelles efficacités qu'elle engendre, s'accompagne nécessairement, d'après Béguin (1996), d'une évolution des savoirs et de l'organisation du travail. De même le contenu des tâches (Norton, 1981); les procédures et besoins en communication (Hale, 1984) et les structures de l'entreprise (Davine et Richards, 1981) seraient impactés (tous cités dans Béguin, Rabardel et Trotta, 1992). L'examen de ces impacts, certainement plus porteurs pour la compréhension de la modulation des habitudes métiers que de dresser une simple liste des limitations technologiques, sera considéré au sein de nos recherches.

4.9. Méthodologies ergonomiques d'analyse de situation de conception

Nous avons eu, dans les sections précédentes, un aperçu du modèle comparatif bien souvent attribué à l'étude des outils de la conception. De très nettes comparaisons apparaissent et nous nous interrogeons ici sur la pertinence d'une telle méthode d'évaluation. Un large champ de recherche n'attribue pas à tous les types de représentations artefactuelles, et par extension d'outils, les mêmes spécificités. Nombreux sont en effet les auteurs qui mettent en opposition le plus généralement le dessin à main levée (représentation : le croquis, ou le dessin) et les outils de CAO (représentation : la modélisation 3D, le plan, le prototype auto-généré). Les arguments se multiplient pour marquer ces nombreuses différences, et la dichotomie semble se cristalliser en fin de phase de pré-conception, où le concepteur passe au travail à l'ordinateur (Lebahar, 2007). Cet auteur, par exemple, dans ses écrits les plus récents, déclare que "quel que soit son mode d'existence (image mentale, description verbale, croquis caricatural, géométrie codée, maquette d'étude), la représentation d'artefact permet au SC (sujet concepteur) non seulement de communiquer ses travaux mais aussi de simuler ses hypothèses de conception, de les évaluer, modifier, détruire ou stocker". Il ne liste pas les représentations fournies par les outils de CAO. De même, il cite Whitefield (1986) et Ulmann et al (1987) : des comparaisons de travaux réalisés par des designers industriels dessinant à la main et des designers utilisant la CAO tendent à prouver que les premiers favorisent une "stratégie en largeur" (exploration de plusieurs possibilités, de solutions alternatives, ...) tandis que les seconds, étant plus concentrés sur leurs opération de modélisation, développent une solution unique beaucoup plus détaillée, et travaillent ainsi selon une "stratégie en profondeur". D'autres, par contre, plus fervents admirateurs de l'informatique, clament que les aspects négatifs portés par la CAO sont généralement infondés (Roberston & Radcliffe, 2008). Ils apportent à l'examen de ces questions un point de vue intéressant, argumentant que la CAO, telle que critiquée actuellement, n'est vue que comme un outil de production pour les phases plus détaillées et tardives d'un projet de conception, alors qu'elle peut apparaître plus tôt dans le processus comme support d'un certain type d'idéation.

Nous ne défendons ici ni l'un ni l'autre point de vue: il s'agit surtout de remettre en cause ce modèle "comparatif" pour tendre vers une analyse des complémentarités, une étude des caractéristiques "adoptées" ou "rejetées", soit des impacts réels sur le métier de conception en design industriel. Nous appliquons de ce fait des méthodes ergonomiques dite "de processus" (Darses, Détienne et Visser, 2004). Le souhait est en effet d'améliorer les conditions de travail des acteurs des métiers de la conception en design industriel, au sens large (designers, dessinateurs mais aussi, nous le verrons, prototypistes ou techniciens), en étudiant le caractère plus ou moins adapté des outils actuels, dans l'objectif de fournir des pistes pour un travail individuel et collaboratif plus cohérent. Le second aspect, qui ne sera pas développé dans le cadre de ce travail, est l'ergonomie du produit qui elle tente de rendre le produit de la conception mieux adapté aux besoins des utilisateurs. Cela étant, comme le soulignent ces mêmes auteurs, les objectifs de ces deux sous-disciplines sont intrinsèquement liés, et nous partageons leur assurance que l'amélioration des processus impactera l'amélioration du produit, et donc des qualités ressenties par les utilisateurs (utilisateurs clients mais aussi utilisateurs "mise en oeuvre").

Les méthodes d'analyse des contenus choisies sont relativement classiques et ne seront pas discutées plus en détail. Nous optons en effet pour des entretiens "semi-dirigés" individuels ou en binôme, des analyses rétrospectives (Béllies, 1994), le tout croisé avec des observations *in situ* enregistrées en audio et vidéo, puisque, comme l'exprime Bruner "faire et dire constituent une unité fonctionnelle inséparable" (1990/91, p. 34, dans Leplat, 2000).

5. Axe de recherche - Problématique

Un véritable verrou subsiste en matière de soutien informatique aux phases préliminaires de la conception. Les outils de CAO sont particulièrement bien adaptés aux phases de production et post-production mais peu s'attellent, et avec le succès que l'on sait, aux phases d'idéation, lorsque le designer a à traiter le "jaillissement" des premières idées. Pourtant ces outils, avec leurs limitations, font maintenant partie intégrante des pratiques professionnelles des métiers de la conception, le verrou ne semblant pas être un frein aux capacités d'adaptation et d'apprentissage de l'opérateur confronté aux contraintes de son contexte de travail. L'Homme s'adapte et continue à aller de l'avant, dans l'attente d'outils qui conviennent à ses modes opératoires. Nous nous proposons d'examiner ici les "nouvelles habitudes métier" qui se sont développées chez les concepteurs en milieu industriel, depuis l'avènement de la CAO dans leur quotidien professionnel, et ce afin de mieux comprendre les tenants et aboutissants tant des limitations que des apports de ces outils. La question soulevée et à laquelle nous tenterons d'apporter quelques éléments de réponse peut s'exprimer comme suit : comment les modes opératoires et processus cognitifs des opérateurs; la gestion de leurs tâches (temporalité, quantité, qualité, ...) et l'aspect collaboratif de leur travail (tant avec leurs coopérateurs que les sous-traitants, infographistes ou même clients) ont-ils étendu et modulé les usages des outils médiateurs en design industriel ?

La position que nous défendons ici est en effet de considérer que l'appropriation d'un outil, avec ses défauts et qualités, une fois celle-ci effectuée de longue date comme c'est le cas des outils déclaratifs en CAO, est tant soumise aux pratiques quotidiennes du métier qu'elle n'influence elle-même ces pratiques. Cette double approche nous semble la garantie d'une construction pertinente des savoirs nécessaires à des spécifications plus adaptées.

En termes de limitations, il nous faut déjà avertir le lecteur que l'approche développementale croisée du sujet, de son activité et de son artefact, essentielle pour l'analyse des instruments et systèmes d'instruments (Rabardel et Bourmaud, 2003), ne sera bien sûr considérée ici qu'au travers d'une fenêtre temporelle relativement limitée. L'approche sera plutôt celle d'une "photographie" de la situation en un instant *t*, nécessaire dans un premier temps pour s'assurer que l'activité productive soit éventuellement remodelée au service de l'activité d'élaboration de l'instrument (Folcher, 2003). Les schèmes, pour leur part, qui sont inférés à partir des invariants de l'activité, seront difficilement atteints dans le contexte de ces présentes recherches. Le laps de temps passé sur le terrain et les particularités temporelles de projets de conception rendent difficiles l'examen des régularités et l'évaluation du caractère opérationnel et longitudinal des choix. Les conclusions à ce sujet constitueront donc plutôt une première ébauche susceptible de cadrer plus précisément ces occurrences développementales pour de futures investigations. L'examen de ces questions nous permettra également de proposer des pistes d'approfondissement à la recherche en ergonomie, en IHM, en design engineering, mais aussi à l'ergonome au sein de sa pratique quotidienne d'intervention de transformation, d'amélioration, de conception, de formation et de développement des compétences professionnelles et du sentiment de satisfaction des opérateurs.

Ces axes de recherche seront examinés à partir d'une étude du terrain organisée en deux phases. La première phase, l'étude exploratoire, constituera une première approche du domaine de la pré-conception en design industriel. Cette étude nous permettra de mettre au point un pré-diagnostic de la situation existante, en termes d'utilisation des outils médiateurs et des modulations de cette utilisation. Cette phase préliminaire nous fournira les premiers indices susceptibles de nourrir la construction des hypothèses de travail. Ces hypothèses seront ensuite analysées à la lumière des interventions prévues dans la seconde phase, l'étude approfondie en milieu industriel. Celle-ci consistera en une analyse et observation de la situation existante, des traces de projets en cours et d'interventions des différents opérateurs.

Partie II - Etude exploratoire

6. Etude exploratoire

6.1. Objectifs

Trois objectifs globaux guident cette étude exploratoire :

- (i) Se familiariser avec le monde du design de produit, plus particulièrement avec le travail des concepteurs en phase préliminaire de conception, le contexte dans lequel ce travail s'opère et les outils utilisés;
- (ii) Poser un pré-diagnostic quant aux modes opératoires d'utilisation du ou des outils de travail: leurs avantages, leurs limitations en terme de soutien "efficace" des phases de conception; leur modulation en fonction des éléments du contexte;
- (iii) Dresser un modèle des "profils" des designers de produit afin de sélectionner le terrain pour l'étude approfondie;
- (iii) Emettre quelques hypothèses qui recentreront la suite des recherches sur les outils médiateurs (CAO; outils traditionnels) et leur évolution, en lien avec le contexte.

6.2. Terrain

La sélection du milieu industriel comme terrain d'étude approfondie n'est pas gratuite: ce choix ne s'est justifié que plus tard, une fois l'étude exploratoire aboutie. La familiarisation avec le monde du design exigeait de pouvoir avant tout appréhender la complexité des profils qui la composent, et c'est pourquoi notre terrain en phase exploratoire a été volontairement élargi à toutes les compétences du design.

6.3. Méthodologie

6.3.1. Population

La population qui nous était proposée dans le cadre de ce travail, pour des raisons de proximité géographique et pour des raisons pratiques (même langue parlée, degré de disponibilité, ...) est principalement issue d'une Haute école de Design Industriel de la région Liégeoise (9 personnes sur 12 interrogées). Cette école forme depuis presque 130 ans des professionnels de qualité, reconnus pour la plupart sur la scène du design belge et européen, participants actifs de la communauté et agissant dans des domaines divers malgré la relative uniformité de leur formation. La sélection d'un échantillon de cette population nous semblait tout à fait pertinent, la variable de formation étant ainsi fixée.

L'échantillon rassemble 12 designers, parmi ceux-ci, 9 hommes, 3 femmes. Tous les designers interrogés ont un point commun : ils travaillent principalement la forme. Ils ne sont pas spécialisés dans un domaine technique pointu, laissant ces phases de production à des ingénieurs ou techniciens. En d'autres termes, tous ont comme intérêt prédominant de fournir aux usagers des objets qui soient fonctionnellement efficaces, qui répondent aux objectifs d'utilisabilité et de vente. La plupart des grands "domaines" du design industriel sont représentés : design de mobilier, packaging (flacons, présentoirs et autres interfaces de vente), design textile,

design de produits (objets du quotidien), design de luminaires et objets à caractère plus décoratif, et même design/architecture d'intérieur. Différents degrés d'expertise sont présents : 7 experts (exercent depuis plus de 5 ans, ont un nombre raisonnable de projets réalisés à leur actif, dans des domaines divers) et 5 novices (exercent depuis moins de 5 ans, moins de 3 ans dans ce cas-ci). Toutes les personnes interrogées, novices inclus, sont professionnels depuis au moins 1 an (pas d'étudiants donc).

6.3.2. Méthode

Technique d'investigation

Etant donné le caractère exploratoire de cette première approche, nous avons opté pour la technique des entretiens semi-directifs. Cette technique nous paraissait adaptée pour plusieurs raisons ; elle a le mérite tout d'abord de laisser une certaine liberté à l'opérateur interrogé, les risques de réponses "dirigées" ou "biaisées" étant ainsi au maximum évités. Elle offre à l'interviewer une certaine marge de manoeuvre, celui-ci ayant fixé à l'avance des questions à poser qu'il a pu classer en de grandes thématiques de conversations. Il pourra proposer ces thématiques à l'opérateur au fil du déroulement de son discours. L'opérateur ne se sent de cette manière pas jugé ni pressé par un déroulement strict de questions, mais peut cependant être redirigé en finesse par l'interviewer afin d'éviter les écarts trop importants par rapport aux thématiques d'intérêt.

Grille d'entretien

Une grille d'entretien, dont on trouvera le détail en Annexe 1, a été construite en accord et avec les conseils d'une ergonome-chercheuse de l'Université de Liège. Les questions ont été rassemblées en trois périodes temporelles distinctes :

- i. une première période de questions à caractère généraliste qui nous a permis de rassembler les informations nécessaires à la définition précise de la population;
- ii. une seconde période de questions plus axées sur le processus de conception, les modes opératoires, l'aspect collaboratif et l'utilisation des outils médiateurs. Ces thématiques ont été abordées au travers de (si possible) deux analyses rétrospectives. Il avait été demandé au préalable aux opérateurs interrogés de préparer le plus de traces possible de deux des travaux de conception qu'ils considéraient comme les plus aboutis ou en tout cas les plus représentatifs de leur travail. Cette "remise en situation" à posteriori a permis à l'opérateur de d'accéder plus facilement aux données nécessaires, les documents et objets divers préparés soutenant la verbalisation et l'accès à la mémoire. Les traces, quelles qu'elles soient (croquis, photos, maquettes, modélisations 3D, plans, ...) ont facilité la reconstruction de l'histoire de la conception et ont aidé à la compréhension de différents facteurs d'importance tels que les contraintes initiales, les informations à disposition ou non au début du projet, le contexte de travail, les éventuelles "inspirations", l'évolution du projet ou encore l'intervention à divers moments de divers outils.
- iii. enfin, une troisième période de questions à caractère plus ouvert, interrogeant l'opérateur sur ce qu'il pense globalement de la CAO, ses espoirs et ses attentes quant à son évolution.

Six grandes thématiques étaient ainsi abordées au cours de ces trois périodes, et on peut les résumer comme suit :

- informations à caractère général;
- processus de conception et place des outils tels que l'esquisse au sein de ce processus;
- représentations;
- interventions extérieures;
- place de la CAO;
- souhaits.

6.3.3. Passation

Tous les opérateurs interrogés avaient été contactés au préalable via une lettre (voir Annexe 2) leur présentant de façon globale les recherches en cours. Lors de la rencontre, un document de respect de l'anonymat, de confidentialité et de protection du contenu était également proposé (voir Annexe 3). L'entretien s'est fait au maximum sur le lieu de travail (pour tous les opérateurs sauf deux), cette intégration (i) au milieu de leur environnement de conception habituel; (ii) en présence de leurs proches collaborateurs/employés le cas échéant; (iii) avec des traces supplémentaires des deux analyses rétrospectives à portée de main si nécessaire; (iv) avec un accès à tous leurs outils de travail garantissant une approche la plus écologique possible de la situation.

Les entretiens ont duré en général une heure et quart, la plus courte entrevue étant de 30 minutes, la plus longue de 1 heure 45 minutes. Cette durée a toujours été négociée au préalable avec les designers, en fonction de leur disponibilité, et ce afin de permettre à l'interviewer de centrer la discussion de façon optimale sur les informations cruciales. Les entretiens ont été enregistrés (sauf un), des photos ont été prises et des courtes séquences filmées lorsque nécessaire, le tout accompagné de prises de notes de l'interviewer, et toujours suite à l'accord préalable du designer. Le contact a été gardé avec ceux qui désiraient prendre part à la suite des recherches, les résultats de ce travail leur seront transmis.

6.4. Traitement des données recueillies

Les données recueillies sont de plusieurs types : bandes-son des entretiens, prises de note, traces (photos, vidéo, croquis dessinés sur place au moment même pour les besoins de la verbalisation). Nous avons opté pour une analyse globale du verbatim, la retranscription complète au mot à mot de celui-ci ayant été jugée superflue (sous le contrôle et le conseil d'un expert du logiciel d'analyse de contenu verbal TROPES® de l'Université de Liège, Faculté des Sciences de l'Education). Aucune information nécessaire n'était en effet a priori difficilement verbalisable, et il n'était pas non plus nécessaire d'analyser en profondeur les fréquences d'apparition de termes, les hésitations et inflexions de voix pour tirer des entretiens le contenu attendu. La méthodologie de traitement est en conséquence la suivante : première écoute globale pour analyse et compréhension générale du contenu, avec première prise de note pour structurer une seconde écoute, en "phrase par phrase". Cette écoute consiste à découper la verbalisation de l'opérateur en fonction des questions posées et ensuite, question par question, de définir des sous-thématiques de réponse. Ces sous-thématiques constituent la "phrase", qui est recueillie, résumée et retranscrite, le critère d'arrêt d'une phrase étant le glissement de l'opérateur vers une sous-thématique clairement distincte. Seuls les éléments "exceptionnels" ou relatifs à un individu plus en particulier sont repris plus en détail : l'ensemble du verbatim est alors repris entre guillemets.

Les données ainsi recueillies, sous forme de résumés et de mots-clés de réponse, ont été classés dans un tableau à double entrée. Une version allégée de ce tableau est présentée ci-dessous. En ordonnée on trouve les informations "designer n° N/analyse rétrospective n° N", alors qu'en abscisse sont reprises les différentes questions de l'entretien sous forme télégraphique. Les réponses apparaissent relativement à chaque double entrée : celles reprises à l'abscisse "designer i" constituent des réponses à caractère général, celles reprises à l'abscisse "analyse rétrospective i" sont relatives à des mises en situation plus précises et soutenues par des traces.

designer N°	Question 1	Question 2
1	réponse 1.1	réponse 2
analyse rétrospective 1	réponse 1.2	réponse 2.1
analyse rétrospective 2	réponse 1.3	réponse 2.2
2	réponse 1.4	...
analyse rétrospective 1	...	
analyse rétrospective 2		
3		
etc.		

Tableau 3 - Tableau de recueil des données des entretiens.

6.5. Résultats intermédiaires

La lecture en parallèle des données ainsi recueillies et classées pour chaque question nous a permis de mettre en évidence une série de 7 classes (ou facteurs) à double variable chacune, qu'il nous semblait intéressant d'étudier plus en profondeur. On peut représenter ces facteurs comme suit :

Degré d'expertise	Novice
	Expert
Type de projet	Personnel
	Commande
Phases préliminaires de conception	Seul
	En équipe
Exploitation de la CAO	Lui même
	Sous-traité
Utilisation de la CAO	En production uniquement
	En conception et production
Modification des dessins préliminaires	Possibles
	Inacceptables
Conversation réflexive avec le dessin (cfr point 4.3 état de l'art)	Oui
	Non

Tableau 4 - facteurs d'analyse pour l'étude exploratoire.

Ces facteurs ont été ensuite classés en trois groupes.

- i. **“Processus de conception”** regroupe le type de projet, qui peut avoir une influence (contraintes et enjeux) sur le processus de conception et donc l’utilisation des outils; le “degré collaboratif” du travail et le degré d’expertise.
- ii. **“Relation avec la CAO”** regroupe les caractéristiques d’utilisation de l’outil informatique, l’aspect collaboratif et/ou négocié de son utilisation, la phase du processus et la cause de cette utilisation.
- iii. **“Relation avec le dessin”** regroupe les différents comportements de l’utilisateur face au dessin papier/crayon : le degré d’attachement qu’il montre (les dessins peuvent-ils être modifiés sous l’actions d’autres collaborateurs par exemple ?), l’utilisation qu’il en fait (phase du processus ? cause ?).

Les données ont été ré-étudiées à la lumière de ces facteurs (voir Annexe 4), nous avons pu alors les croiser et effectuer certains comptages. Quelques comptages et discussions sont présentés ci-dessous (les résultats secondaires sont en Annexe 5).

L’objectif de ces comptages étant d’aborder de façon globale les questions de recherche, nous nous sommes contentés d’une analyse quantitative préliminaire et descriptive. De plus, toutes les possibilités combinatoires n’ont pas été examinées ici : certaines combinaisons n’auraient pas, on peut facilement s’en rendre compte, fourni d’éléments de réponses intéressants. Notons au passage que les comptages se font tantôt sur un total de 12 personnes, tantôt 11, un des sujets interrogés étant professeur et n’étant pas concerné de la même manière par toutes les questions posées. Ces comptages contribuent à la mise au point de premiers résultats dis “intermédiaires”. Le degré de pertinence de ces résultats devra être discuté à la lumière des hypothèses que nous sélectionneront ensuite, mais nous pouvons déjà souligner les informations qui nous semblent intéressantes. Les résultats peuvent être classés selon les 3 grands groupes définis plus haut.

6.5.1. Résultats en terme de processus de conception

Le tableau ci dessous nous apprend soit que la **conception en équipe requiert une pratique du dessin**, soit que la pratique du dessin pousse à la collaboration (peu probable : les facteurs décisifs d’une collaboration semblent être tout autres en ce qui concerne les métiers de la conception).

	Conçoit seul	Conçoit en équipe
Dessine	6	3
Ne dessine jamais	2	0

Tableau C.

Le nombre de commandes semblerait augmenter avec le degré d’expertise, ce qui est appuyé par les verbalisations des opérateurs. Ces mêmes verbalisations nous permettent de faire un lien entre ces données et l’influence éventuelle des outils médiateurs : les opérateurs expliquent en effet qu’un nombre croissant de commandes signifie une quantité de contraintes à gérer en augmentation, des délais toujours plus courts, une pression due aux appels à projets toujours plus importante, soit une **diminution du temps que l’on peut accorder aux phases de pré-conception**.

Cela peut avoir plusieurs conséquences en fonction de l’importance accordée aux différents artefacts. En effet, dans le cas d’une utilisation régulière du dessin, et à condition que le client soit ouvert à l’idée d’une pré-conception dessinée à main levée, les professionnels nous disent essayer de limiter au maximum le temps accordé aux modélisations 3D, celles-ci n’arrivant que plus tard mais toujours durant la phase de pré-conception : une petite dizaine d’alternatives crayonnées sont d’abord proposées, et c’est seulement ensuite, si le client le désire, que les 2 ou 3 solutions conservées seront modélisées. Par contre, si le client est réticent à un dessin papier/crayon qui peut certes avoir l’air moins “finalisé”, le nombre de solution proposé serait moindre : les contraintes de temps étant les mêmes, mais la durée de modélisation étant bien plus importante, les possibilités d’explorer les diverses possibilités diminuent.

	Projets personnels	Commandes
Novice	4	1
Expert	1	5

Tableau G.

Par ailleurs, d'autres lectures attentives du verbatim nous apprennent que 11/12 opérateurs disent avoir un processus de conception basé sur **une conversation réflexive**. Sur ces 11 personnes, 7 disent l'avoir uniquement à partir du dessin, 3 explicitent qu'une fois le processus de conversation entamé sur le papier, ils le continuent sur l'ordinateur, tandis que le dernier ne l'a exclusivement que sur l'interface informatique. Ce dernier sujet semble créer avant tout une image mentale de l'objet, qu'il cristallise ensuite directement sur son écran, sans qu'il n'ait recours à aucune itération. Ce phénomène est examiné et discuté par Bilda et Gero (2006): il serait en effet possible pour des sujets experts de fournir des solutions de qualité équivalente sans avoir recours à une quelconque externalisation durant le développement conceptuel d'une solution.

Parallèlement au résultat précédent, **11/12 disent donc avoir recours à plusieurs itérations, quel que soit l'artefact donc, les allers retours étant possible entre les différents outils utilisés (dessin et CAO en général)**. La conception itérative reste une constante pour les pré-conceptions collaboratives, et ces boucles exploitent tantôt le dessin, tantôt la CAO, **rendant moins claire l'habituelle dichotomie entre la pré-conception utilisant le dessin papier/crayon et la phase de production utilisant les outils de CAO**.

Comme expliqué plus haut, le **contexte professionnel** et certains critères comme les délais semblent influencer le rapport entretenu à l'outil médiateur. Il semblerait de plus que les attentes du client aient une autre conséquence sur son utilisation. Ces attentes sont en effet beaucoup plus importantes face à une image "propre" présentée en 3 dimensions : les clients estiment qu'ils font face à l'image fidèle de ce que sera le projet au final, plus aucune "tricherie" due à des effets visuels n'est alors admise et les modifications ultérieures sont plus difficilement défendables. Les clients sont par contre beaucoup plus "tolérants" et flexibles vis-à-vis des modifications lorsque des dessins leur sont présentés. Mais ceci à condition bien sûr que la 3D ne soit pas un argument de vente trop important.

Le designer doit donc véritablement établir une stratégie dans le choix de l'artefact de communication : présenter trop tôt des images trop "léchées" diminuera ses marges de manoeuvre futures, images 3D qui sont pourtant parfois nécessaires pour s'assurer la garantie d'un contrat. Une seconde négociation sera également en cours, en parallèle, en ce qui concerne les attentes personnelles du concepteur vis-à-vis de son propre projet et des images totalement différentes qui lui seront rendues par l'un ou l'autre artefact. L'expertise est bel et bien associée ici également à l'ancienneté et au type de formation, et il pourra être intéressant d'évaluer les raisonnements actuels lorsque les jeunes, habitués et formés à l'utilisation de la CAO, auront également acquis un degré d'expertise important.

6.5.2. Résultats en terme de relation avec la CAO

Le tableau ci dessous nous apprend que la grande majorité des experts interrogés ici - le terme "ancien" convenant sûrement mieux - **n'utilise la CAO qu'en phase de production**, tandis que les jeunes (novices ?) l'utilisent également dès la phase de conception. Etant donné que certains des experts le sont depuis bien plus tôt que l'avènement de la CAO dans les milieux professionnels, on peut raisonnablement espérer que ce n'est pas le critère d'utilisation de la CAO qui détermine du degré d'expertise - mais qu'en est-il du degré d'ancienneté ?

	Novice	Expert
CAO en production uniquement	1	6
CAO en conception ET production	4	1

Tableau E.

Il existerait une influence entre le fait que les opérateurs qui utilisent la CAO dès les phases de conception gèrent également eux-mêmes cet outil; le tableau F nous apprend que ceux qui, par contre, ne l'utilisent qu'en phase de production, semblent généralement la sous-traiter. L'élément intéressant est ici de voir qu'il existe **un lien entre CAO en conception et degré d'habileté/degré d'intérêt vis-à-vis de cet outil.**

	CAO en production uniquement	CAO en conception ET production
--	------------------------------	---------------------------------

CAO lui même	1	5
CAO en sous traitance	5	0

Tableau F.

Un lien entre le degré d'ancienneté et le fait de sous-traiter ou non la CAO pourrait exister chez les sujets interrogés¹⁷.

	Novice	Expert
--	--------	--------

CAO lui même	4	2
CAO en sous traitance	1	4

Tableau I.

On peut également mieux s'expliquer, grâce aux verbalisations, pourquoi la CAO est tant consommatrice de temps alors qu'**une nouvelle profession, les infographistes**, est apparue spécialement pour soutenir les concepteurs qui n'ont pas les compétences/l'envie/le temps de s'y atteler. D'après les designers interrogés, que l'on gère soi-même la modélisation ou qu'on la sous-traite a finalement peu d'importance d'un point de vue temporel : les difficultés de transmission du concept à l'infographiste sont telles que les allers-retours incessants nécessités à cause d'interprétations parfois hasardeuses prennent finalement autant de temps. Les erreurs qui peuvent être effectuées lors de l'interprétation sont peut-être le signe de ce que nous appellerons une **nouvelle forme de conception collaborative** : les infographistes, lors de la passation du projet, s'approprient celui-ci et entament à leur tour une nouvelle phase de conception du projet, mais sans pour autant en comprendre toute la complexité. Cette "re-conception" peut en effet être tout à fait justifiée et acceptée par le designer, les conseils des infographistes étant pertinents, ou au contraire rejetée par celui-ci, le mode collaboratif étant alors plus proche de la confrontation des points de vue.

6.5.3. Résultats en terme de relation avec le dessin

Le tableau suivant nous apprend soit que les experts/anciens interrogés dessinent plus que les novices/jeunes et continuent à dessiner, malgré l'avènement de la CAO, soit que l'utilisation du dessin peut apparaître avec ce degré d'ancienneté/d'expertise.

	Novice	Expert
--	--------	--------

Dessine	3	7
Ne dessine jamais	2	0

Tableau B.

¹⁷ Il est très peu probable cette fois que ce soit le réel degré d'expertise qui soit concerné, ou alors nous devrions admettre que le concepteur, en passant expert, fait une croix sur l'utilisation de la CAO alors qu'il est probablement, après autant d'années d'utilisation, passé "pro" en la matière...

Le dessin contribuerait de manière égale à une exploitation de la CAO seul ou en sous-traitance et vice-versa. Le tableau suivant nous apprend également qu'il existe une influence entre le fait d'exprimer ne plus avoir besoin de dessiner et le fait d'exploiter soi-même la CAO. De ces résultats on peut raisonnablement conclure que **l'avènement de la CAO a une influence sur l'utilisation du dessin comme artefact médiateur.**

	Dessine	Ne dessine jamais
CAO lui même	4	2
CAO en sous-traitance	5	0

Tableau D.

Le tableau suivant, quant à lui, nous apprend qu'il existe chez les sujets interrogés un lien fort entre le fait de pratiquer le dessin et n'utiliser la CAO que dans les phases de production. On observe également, de façon logique, que ceux qui ne disent plus utiliser le dessin ne peuvent se contenter de la CAO qu'aux phases de production : une utilisation dès la phase de conception est requise. Notons cependant que **l'artefact médiateur, quel qu'il soit, reste une nécessité pour le soutien des phases de conception.**

	CAO en production uniquement	CAO en conception ET production
Dessine	7	3
Ne dessine jamais	0	2

Tableau H.

Les modifications du dessin en stade préliminaire semblent acceptées d'égale manière que le projet soit personnel ou issu d'une commande, avec pourtant, à faible proportion certes, une réticence plus marquée du côté des porteurs de projets personnels.

	P r o j e t s personnels	Commandes
Modification du dessin acceptée	3	3
Jamais de modification du dessin	1	2

Tableau J.

Ce degré d'acceptation de modification réapparaît dans ce tableau, qui lui la met en parallèle avec l'utilisation qui est faite de l'externalisation. Il semblerait ici que **les plus enclins à modifier leurs dessins soient également ceux qui utilisent la CAO dès les phases de conception,** et vice-versa.

	CAO en production uniquement	CAO en conception ET production
Modification du dessin acceptée	3	3
J a m a i s d e 3 modification du dessin		0

Tableau K.

Le dernier tableau, enfin, lie le degré d’expertise/d’ancienneté avec une flexibilité face à la modification du dessin: les novices/jeunes semblent ici les plus ouverts à une modification. Les “anciens”, ayant été formés différemment, dessinent plus et semblent moins enclins à la modifier au cours du projet que ceux qui conçoivent également via la CAO. Les modifications sont peut-être, dans ce dernier cas, plus facilement accordées car elles ont alors le plus souvent lieu sur une impression de la modélisation en cours. Le degré d’appropriation semble donc différent, dès l’instant où une modélisation a eu lieu, où des collaborateurs tels que l’infographiste par exemple s’approprient en quelque sorte le projet.

	Expert	Novice
Modification du dessin acceptée	3	3
Jamais de modification du dessin	3	0

Tableau L.

Tous ces résultats ne peuvent évidemment prétendre à généralisation. Néanmoins, ils nous permettent de lister les éléments interpellants et d’évaluer dans quelle mesure nous pourrions pousser plus loin leur étude.

Caractéristiques à examiner	Caractéristiques non exploitables
<ul style="list-style-type: none"> - Impact de l’avènement des outils de CAO sur les outils dits plus “traditionnels”; - Impact des contextes du projet sur les outils médiateurs et les représentations (contraintes, délais, attentes du client, ...); - Evolution des caractéristiques des processus de conception (dont seule la conversation réflexive a été examinée jusqu’à présent) en lien avec les outils utilisés. Examen des allers/retours et itérations qui ont lieu entre les différents outils et atténuation de la dichotomie “designers qui dessinent vs. designers qui modélisent”. - Impact de la nouvelle profession d’infographiste/dessinateur sur le métier de la conception en design industriel et apparition d’une nouvelle forme de conception collaborative; - Impact des collaborations sur les outils médiateurs. 	<ul style="list-style-type: none"> - impact de la formation et - impact du degré d’ancienneté/d’expertise <p>sur l’utilisation des outils médiateurs et sur les processus de conception et évolution de ces impacts (évolution des habitudes métier avec le “lissage” de l’expertise en terme d’exploitation de l’outil informatique).</p>

Tableau 5 - Caractéristiques exploitables.

Le caractère “non exploitable” de certains éléments est lié à la limite temporelle de ces recherches : une étude longitudinale est en effet difficilement réalisable.

7. Construction des hypothèses

Pour rappel, l'axe de recherche que nous désirons examiner interroge l'extension et la modulation des outils médiateurs en design industriel. Plusieurs indices, en terme d'impacts, viennent d'être listés au cours de l'étude exploratoire, tant des outils sur les contextes que des contextes sur les outils. Repartant de ces premières observations, le choix est posé de travailler avec deux hypothèses distinctes.

L'hypothèse 1 traitera du premier sous-groupe d'indices, à savoir :

- Impact de l'avènement des outils de CAO sur les outils dits plus "traditionnels";
- Impact des contextes du projet sur les outils médiateurs et les représentations (contraintes, délais, attentes du client, ...);
- Evolution des processus de conception en lien avec les outils utilisés. Examen des allers/retours et itérations qui ont lieu entre les différents outils et atténuation de la dichotomie "designers qui dessinent vs. designers qui modélisent".

De ces impacts nous conservons :

- le fait qu'une dépendance des outils médiateurs aux contextes existe (contexte global d'exécution de la tâche de conception, contexte collaboratif, ...);
- le fait qu'une évolution des modes opératoires et des processus de conception existe : le métier de designer semble avoir évolué, et les différentes frontières habituellement étudiées tendent à s'estomper. Ainsi, les profils de dessinateurs/designers et designers qui dessinent/qui modélisent ne semblent plus être diamétralement opposés. Cette opposition, qui nourrissait bien souvent la longue liste des limitations actuelles de l'outil informatique, pourrait plutôt être examinée sous l'angle de la complémentarité.

L'hypothèse 1 déclare donc qu'il **n'existerait pas une dichotomie "designers qui dessinent" vs. "designers qui modélisent", mais plutôt un continuum de chemins de conception, évoluant d'un extrême à l'autre dans une intervalle qui dépendrait à la fois du profil, des habitudes du designer mais aussi du contexte global d'exécution de la tâche de conception. Ce chemin de la conception peut encore évoluer lui même au cours d'une seule et même tâche de conception, et influence l'utilisation des outils médiateurs.** Cette hypothèse peut être formalisée comme suit :

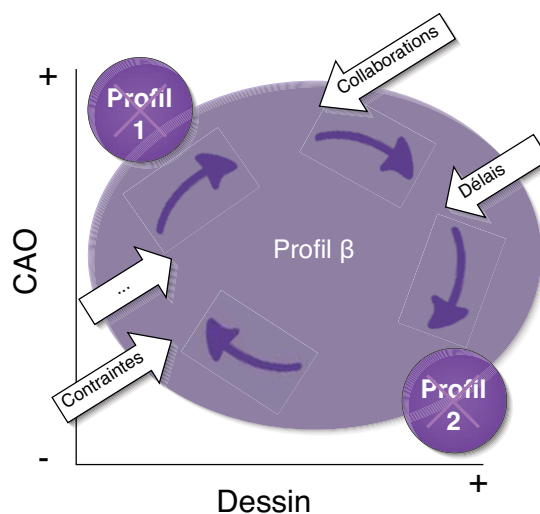


Figure 12 - Hypothèse de Non Dichotomie

Poser cette hypothèse revient aussi à s'interroger, par extension, sur la manière dont la **recherche** en ergonomie et IHM pourrait **se positionner vis-à-vis de ces flexibilités nouvelles**. Doit-on considérer plusieurs schèmes d'utilisation, qu'ils soient liés à plusieurs instruments utilisés ou à un seul, d'ailleurs ? Quelles conséquences cela peut-il avoir pour les interventions ergonomiques de conception ? Et quelles conséquences (sur la charge mentale, sur la santé ?) a l'utilisation sans cesse croissante de l'outil informatique lorsque l'on connaît tous les paradoxes qu'il fait subir à son utilisateur ? Certains auteurs, dont Béguin (1994; 1997, cité par Bourmaud, 2006), ont pu montrer que "les difficultés que rencontraient les opérateurs de CAO résultaient de leur impossibilité à mettre en oeuvre le schème de conception mobilisé autrefois lors de la conception papier-crayon". Nous aurions plutôt tendance à dire qu'il existe aujourd'hui des schèmes distincts qui se complètent, rejoignant de ce fait les conclusions de Bourmaud lorsqu'il écrit que "le système d'instruments organise des ressources de nature hétérogène en un système d'ensemble homogène" (2006).

L'hypothèse 2 traitera du second sous-groupe de thématiques, à savoir

- L'impact de la nouvelle profession d'infographiste/dessinateur sur le métier de la conception en design industriel et l'apparition d'une nouvelle forme de conception collaborative;
- L'impact des collaborations sur les outils médiateurs.

Elle sera exprimée comme suit : **les différents acteurs de la conception (designers, infographistes, collaborateurs) et les modalités de la collaboration ont une influence sur les propriétés et fonctions des représentations externes, et par extension sur l'utilisation des outils médiateurs.**

7.1. Sélection du profil, du type de projet et des contextes

L'achèvement de la première phase ouvre les portes à plusieurs objectifs, préliminaires au test des hypothèses proposées plus haut. Tout d'abord, afin de réduire le champs d'investigation et de faciliter la sélection d'un échantillonnage, il nous faut définir les profils qui nous semblent les plus enclins à nous fournir les informations recherchées, ainsi que les "chemins" de la conception qui nous intéressent. Il nous faut également sélectionner les types de projets et les contextes les plus porteurs. Dans le tableau suivant nous résumons les trois grands types de profils distingués au cours de la phase d'exploration, ainsi que leur relation supposée aux deux outils médiateurs principaux et au dessinateur :

Profil N°	Relation à l'esquisse supposée	Relation à la CAO supposée	Type de collaboration supposée avec le dessinateur
1 - sous-traitance CAO	en conception principalement cycles itératifs conversation réflexive	minimale évaluation - vérification - communication	conception distribuée négociation ?
2 - itérations en pré-conception entre outil de CAO et outil dessin	en conception + production cycles itératifs conversation réflexive	en conception principalement cycles itératifs conversation réflexive	collaboration co-conception
3 - itération en pré-conception uniquement avec l'outil de CAO	minimale esquisse pense-bête cristallisation	conception + production cycles itératifs conversation réflexive	?

Figure 13 - Définition des profils.

7.2. Sélection du terrain de l'étude approfondie.

La comparaison de ces différents profils et l'étude de l'impact des modifications "métier" sur l'utilisation des outils médiateurs doit se faire sur un terrain regroupant idéalement :

- des designers de profils différents;
- collaborant, selon plusieurs modalités, avec des dessinateurs;
- et évoluant dans un contexte de travail cristallisant des variants et invariants de leur tâche de conception.

Nous nous sommes dès lors intéressés au milieu industriel privé, regroupant minimum 5 designers et dessinateurs travaillant ensemble au quotidien. Ceci nous permet de centrer nos observations sur une équipe plus large d'acteurs de la conception en collaboration, intégrés dans des tâches de conception comparables et des contextes équivalents et connus.

Ce choix d'une intervention sur terrain plutôt qu'une expérimentation en laboratoire nous propose des données diverses, relatives aux éléments des contextes¹⁸, tels que types de projets, délais, contraintes, degré d'expertise, modalité de l'éventuelle collaboration, possibilités de recours ou non à des dessinateurs, relation avec l'outil informatique, temporalité du projet, ...

Ce recours à toute la diversité rencontrée en milieu industriel sera outillée également par des observations instantanées (cfr. chapitre suivant), qui nourriront les données déjà recueillies au travers des analyses rétrospectives.

¹⁸ Pour la discussion de la polysémie du terme « contexte », nous ayant mené à utiliser le terme au pluriel, se référer au point deux.

Partie III - Etude approfondie

8. Etude approfondie en milieu industriel

8.1. Objectifs

Les objectifs de cette troisième partie est de traiter les hypothèses définies dans la partie précédente : l'étude de terrain et le recueil des données fourniront des éléments de réponse.

8.2. Terrain

8.2.1. Le milieu industriel

L'entreprise ayant répondu à notre appel (voir lettre de prise de contact en Annexe 6) est une entreprise Namuroise de conception de corps de chauffe : poêles à bois, au gaz, feux ouverts principalement. Elle s'organise autour de deux sites principaux : un premier département de production et un second département de Recherche et Développement, Mises aux normes et Tests en laboratoire, regroupant à l'heure actuelle une vingtaine de personnes. Le responsable de ce département, "G", est sensible depuis longtemps aux problématiques considérées en ergonomie (il a déjà fait appel à des ergonomes auparavant pour la définition des postes de soudure) et nous a donné carte blanche pour toute intervention centrée sur la R&D, à condition qu'un document de confidentialité soit signé.

Le département R&D emploie 6 designers et 3 dessinateurs/ingénieurs, ces derniers étant sélectionnés non seulement pour leurs compétences en infographie et modélisation 3D mais aussi pour leurs connaissances techniques et industrielles. Il fallait aux designers, ayant à leur charge de multiples tâches (comme nous allons le voir), des collaborateurs compétents en la matière, à qui il n'était pas nécessaire d'expliquer toutes les complexités d'un processus d'industrialisation et de mise en production.

8.2.2. Le contexte de l'intervention - la "demande"

L'entreprise fait face depuis 2 ans à une explosion de la demande (15.000 pièces produites/an) et à un agrandissement conséquent de son équipe de R&D. Il s'en est suivi de nombreuses restructurations, les plus importantes apparaissant au niveau de la répartition des tâches prescrites de l'équipe de design. Jusqu'en 2006, l'équipe de design s'occupait principalement de la conception des foyers, tandis que le dessinateur (sous-traitant en général) se chargeait, lorsque cela était nécessaire, de la modélisation 3D, de la mise en plan et l'envoi à la production. Les prototypes étaient directement pris en charge par les ouvriers prototypistes.

Aujourd'hui le designer est intégré de façon beaucoup plus intense tout au long du processus de conception. Il intervient au niveau de la définition des concepts, de la mise au point des prototypes ou encore de la gestion du projet, ainsi qu'à l'industrialisation, la mise en production et même parfois le service "après vente" (les designers deviennent momentanément formateurs pour les monteurs et architectes). Les dessinateurs, sur place cette fois, travaillent en étroite collaboration tant sur la modélisation que la mise en plan (voir exemple en Annexe 16.7) ou encore les modifications suite aux tests effectués sur les prototypes.

Ils interviennent de ce fait beaucoup plus en amont du processus en renseignant le designer sur d'éventuelles erreurs de conception. La structure hiérarchique de cette petite équipe a été également impactée par ces modifications. En effet, l'arbre hiérarchique passé peut être modélisé comme suit :

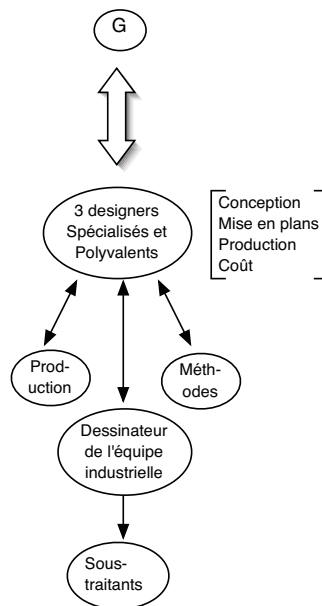


Fig 14 - Arbre hiérarchique de l'entreprise avant 2006.

G, directeur, responsable de l'équipe de conception et designer "senior", se situe alors seul en position hiérarchique "haute", et fait part de ses opinions à 3 designers "chefs d'équipe". Ces derniers sont désignés "spécialisés et polyvalents", car ils ne s'occupent globalement que de la conception du produit (caractère spécialisé) mais gèrent également la mise en plan, la production et les coûts (caractère polyvalent). Ces tâches sont ensuite assignées à l'équipe de production et de méthodes¹⁹, tandis que les éventuelles modélisations 3D et mises en plan, lorsqu'elles sont trop complexes, sont laissées à charge d'un dessinateur de l'équipe industrielle éventuellement aidé par des sous-traitants.

L'arbre hiérarchique actuel, mis en oeuvre entre 2006 et aujourd'hui, peut être représenté comme suit :

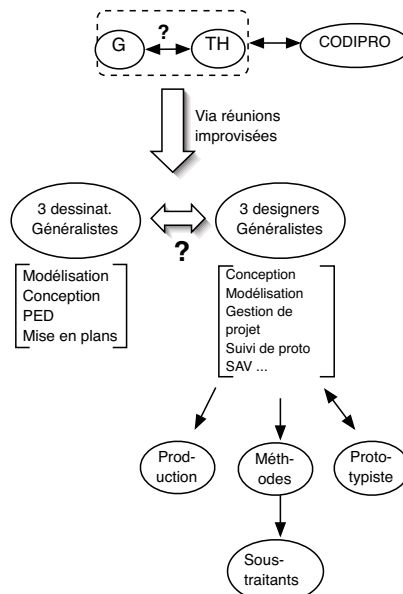


Fig 15 - Arbre hiérarchique actuel de l'entreprise.

¹⁹ L'équipe des "méthodes" s'occupe de la répartition des tâches de production entre ouvriers, des tâches assignées aux différents postes, aux horaires etc.

Un ingénieur thermicien, TH, a été engagé comme chef d'équipe alors que le département de production appelait G à d'autres tâches. G désirant malgré tout conserver quelques possibilités décisionnelles au sein de la R&D, a mis sur pied un groupe appelé "CODIPRO" (pour COmité de DIrection de PROjet), qui rassemble une à deux fois par projet les principaux décideurs de l'entreprise pour une évaluation des états d'avancement. Appartiennent au CODIPRO : G, TH, le responsable marketing, le responsable des coûts de revient, le comptable, un représentant des commerciaux, le responsable production et normes et enfin le responsable méthodes. G et TH, selon une relation hiérarchique peu définie, gèrent l'équipe de conception, agrandie depuis à 3 designers et 3 dessinateurs, au fil de réunions improvisées (opportunistes). Les designers sont dits cette fois "généralistes" puisqu'ils gèrent de façon beaucoup plus large les différentes facettes du produit, jusqu'à la mise en production, et perdent de ce fait une certaine part de leur spécialité de concepteur. Ils conservent cependant leurs responsabilités vis-à-vis des autres équipes de production et méthodes. De nouvelles formes de travail d'équipe apparaissent avec l'arrivée du prototypiste, chargé de la production de nombreux prototypes qui jalonnent maintenant la durée de conception d'un produit, tandis qu'une forme plus forte de collaboration apparaît avec les dessinateurs, devenus indispensables.

La structure telle qu'actuellement définie, bien qu'elle soit toujours en phase d'intégration, ne convient pas encore d'après la direction, celle-ci mettant en avant plusieurs difficultés :

- les dossiers de fabrication doivent être mieux élaborés et plus précis (meilleure communication du dimensionnement et "tolérancage" des pièces);
- les designers, bien que ne travaillant sur un seul projet à la fois, doivent organiser en parallèle toute la gestion de projet, et ne se consacrent plus suffisamment longtemps sur les phases de conception. G dit à ce propos que l'entreprise *"a perdu la flamme créatrice qui lui est pourtant si nécessaire"*. Les pertes de temps et allers-retours se font surtout au niveau de la résolution des "nœuds technologiques" de la conception;
- l'entreprise subit une perte de la maîtrise des prix de revient : croissance, spécialisation des tâches, explosion de l'équipe, concurrence ... ont conduit une à complexification des projets et donc une perte de contrôle de l'ensemble du coût du processus;
- il faut diminuer les chutes et les surdimensionnements inutiles dès les phases de conception, en simplifiant au maximum les foyers;
- diminuer les risques de contrefaçon en augmentant le degré de "sophistication" (paradoxal avec commentaire précédent);
- les standards de qualité en soudure ne sont pas atteints;
- il faut faire face à la constante démotivation des ouvriers, qui comprennent difficilement la politique de sous-traitance actuellement appliquée pour faire face à l'augmentation de la demande (les ouvriers se sentant "dépossédés" de leurs compétences reconnues);
- il faut augmenter la production, les 55% de rendement actuels n'étant pas suffisants. La direction se propose pour cela de mieux définir les temps de production et les tâches allouées à chaque poste de travail;
- enfin, la direction déclare qu'il faudrait mieux respecter la structure globale d'un projet telle que proposée en théorie et ne plus "by-pass" aucune des phases définies dans l'agenda théorique de conception (voir ci-dessous);

G, responsable, souligne que la plupart de ces difficultés pourraient être contournées par une amélioration des processus de conception. En effet, d'après lui, les solutions ne sont plus investiguées suffisamment profondément avant de passer en phase de détail: trop de temps est passé sur la 3D et sur la gestion de projet, trop d'allers/retours sont faits, trop de changements conceptuels surviennent qui poussent les designers à une constante perte de temps. Il dit à ce propos : *"aujourd'hui le vocabulaire change : on parle de plans commerciaux à moyen terme, plans de développement technologique, plan directeur de production ... tous ces plans sont importants pour planifier investissement, ressources, sous traitant, mais en même temps ils introduisent une paralysie dans les processus de conception : on a passé trop de temps en réunion à calculer des indicateurs, en oubliant le terrain !"* G ajoute qu'il ne lui sera bientôt plus possible, étant donné la masse de travail, de gérer en parallèle tous les projets.

L'équipe par ailleurs reconnaît l'importance de G au sein de l'équipe et son positionnement hiérarchique stratégique et constructif. Cependant, le cadre prescriptif parfois peu flexible pourrait avoir, aux dires de certains, une certaine influence sur l'efficacité du processus de conception. La prise de décision est entachée en effet de la structure pyramidale de l'équipe, chaque modification interpelle souvent toute l'équipe et prend énormément de temps, pour être bien souvent suspendue au profit d'une nouvelle idée apparue sans concertation.

Toutes ces problématiques mériteraient à elles seules une intervention ergonomique importante, et ce n'est pas l'objet de cette recherche. Nous tenterons pourtant de ré-interpréter cette demande à la lumière des thématiques abordées ici : la garantie d'une conception plus équilibrée et efficace ne passerait-elle pas par l'étude et la mise au point d'outils médiateurs plus adaptés au processus des concepteurs ?

Face à ces difficultés, la direction prévoit déjà une restructuration supplémentaire, qui courra sur les mois à venir. Celle-ci prévoit la mise au point et l'application "stricte" d'un agenda théorique de conception, balisant un projet en plusieurs phases accompagnées de livrables imposés.

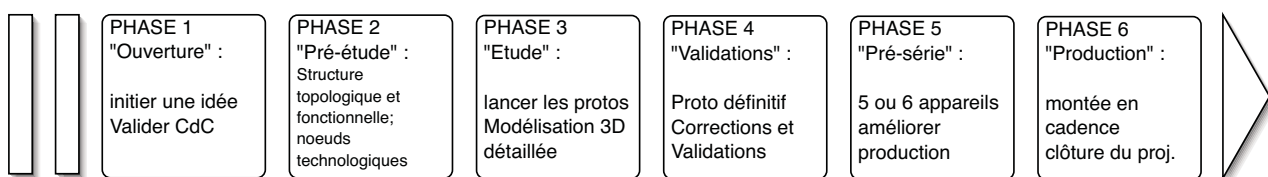


Fig 16 - Agenda théorique de conception.

Cette seconde salve de restructuration s'accompagne d'une redéfinition de l'arbre hiérarchique comme suit :

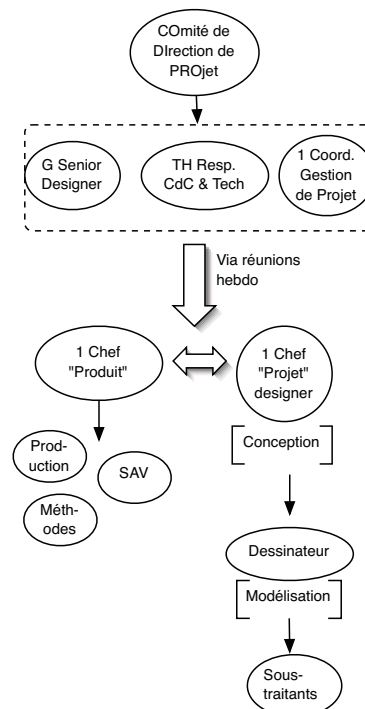


Fig 17 - Arbre hiérarchique futur.

Le groupe CODIPRO, pourtant éloigné des réalités de l'équipe de conception, validera les propositions d'un groupe de responsables composé de G, TH et un coordinateur "gestion de projet". L'espoir est ici que les responsabilités partagées entre G et TH se feront plus claires (TH devenant responsable des Cahiers de Charges et Techniques), et que le coordinateur pourra soulager les designers des responsabilités de gestion de

projet. Les designers se verront également écartés des processus de production, méthodes et service après-vente qui sera pris en main par un chef “produit”. L’objectif est que les designers se recentrent sur la tâche de conception exclusivement, aidés en cela par les dessinateurs chargés de la modélisation. Cet arbre s’accompagne de plus des objectifs suivants :

- redéfinir les tâches de chacun et éviter les doublons et les contradictions au niveau hiérarchique supérieur;
- affiner la gestion des projets;
- diversifier les technologies : s’intéresser aux nouvelles technologies et faire évoluer la conception en conséquence.

La direction résume ce plan d’action en 3 objectifs principaux :

- augmenter la flexibilité;
- diminuer le prix de revient;
- augmenter la motivation;

et espère que l’application pratique de notre intervention pourra aider à les atteindre, en tout ou en partie.

Face à ces restructurations annoncées, l’inquiétude des designers se fait sentir sur plusieurs niveaux :

- la perte de contact totale avec les phases de production principalement ne leur semble pas judicieuse : même s’ils se disent soulagés de ne plus avoir à traiter délais, plannings, retards de livraisons etc. ils ressentent le besoin de garder un certain contact avec les réalités du “terrain”;
- l’intégration de nouvelles technologies soulève de nombreuses questions : ces outils très chers vont exiger une conception toujours plus précise et ce très en amont du processus global de production. En effet, les temps de validation lors de l’utilisation de ces machines sont plus longs, les allers/retours vers la conception sont impossibles ou en tout cas très coûteux. Cette volonté d’aller vers toujours plus d’automatisation de pointe nécessitera l’intervention d’un “expert”, qui n’est vu que comme un intermédiaire de plus dans le long et complexe processus de conception.

Le modèle de la conception “à double structure” de Weil (1999) semble pouvoir résumer la situation actuelle et à venir : il considère en effet la conception comme “une pyramide économico-administrative, fortement hiérarchisée et relativement éloignée des aspects techniques de la conception, qui chapeaute un réseau d’acteurs techniciens dont les relations sont peu structurées et auto-organisées” (cité dans Darses, 2004).

8.2.3. L’objet de la conception

Nous retiendrons 6 produits parmi la gamme des foyers proposés, pour leur importance au sein de l’équipe de conception au moment de l’intervention. Tout d’abord, dans la famille “poêle à bois”, le foyer “30”, décliné en une version suspendue, le “30 UP” et une version compacte, pour espaces plus restreints, le “30 COMPACT”. Les poêles 30 ont comme spécificité un foyer qui peut pivoter sur une base appelée “tambour”, le poêle pouvant être utilisé en 3 modes : mode feu ouvert, mode feu ouvert avec vitre (type “insert”) et mode poêle à bois fermé. Nous retiendrons également le “16 QA2”, 2^{ème} génération, et plus particulièrement sa gamme de supports qui l’intègrent à l’espace architectural, que nous nommerons “SOCLES”. Dans les foyers plus classiques style feu ouvert, l’équipe travaille actuellement le “22”, insert nouvelle génération, à intégrer à un volume architectural.

D’une manière globale, les cahiers des charges soulignent que le produit doit :

- être convivial et offrir une large vue sur le feu;
- garantir le leadership de l’entreprise (les produits ayant formellement un style très épuré et moderne, loin des codes de robustesse et rusticité des foyers traditionnels);
- optimiser les “techniques du feu” (hygiène de combustion, performances énergétiques, rendement, respect des normes, ...);

- tirer parti d'autres technologies.

Chaque produit présente par ailleurs ses contraintes, qui seront présentées plus loin²⁰. La spécificité de ces designs réside dans la complexité cachée du produit. Ainsi, des contraintes en terme d'étanchéité, de résistance à la température, de flux d'air, ... doivent être considérées, sans compter des variabilités nationales en terme de normes et de prix de revient.



Fig 18 - Le produit "30 compact" mis en test au feu.

8.3. Méthodologie

La première étape de présentation de l'intervention et de familiarisation s'est avérée cruciale. Il nous fallait en effet nous positionner par rapport à la direction et sa "demande" tout en garantissant à l'équipe de conception que les intérêts de l'étude étaient distincts de ceux de la direction. Une présentation d'une vingtaine de minutes a été faite dans ce sens (voir Annexe 7).

Une seconde contrainte imposée par le terrain est la signature d'un contrat de confidentialité, respect de l'anonymat et protection des données, qui a conditionné toute l'intervention au sein de l'entreprise, de l'accès aux dossiers jusqu'à la participation aux réunions de conception. Ce contrat impose sur toutes les données traitées un caractère confidentiel incontournable, bien compréhensible lorsque l'on sait que les équipes de designers en R&D mettent au point des produits à fort degré d'innovation, qui n'apparaîtront sur le marché que dans les deux à trois années à venir, et que la concurrence, le piratage de données et l'espionnage est une réalité du quotidien dans ces milieux industriels. Toutes les précautions déontologiques ont également été prises, en matière de respect de la vie privée, respect des desiderata particuliers des sujets interrogés, enregistrés et filmés.

8.3.1. Opérateurs et outils médiateurs

L'équipe R&D ayant collaboré à notre travail se compose de 5 designers et 3 dessinateurs. Ils sont présentés grâce à des initiales d'emprunt dans le tableau suivant :

²⁰ Un exemple d'un cahier des charges "type" pourra être trouvé en Annexe 15.

Designer	Rôle	“Ancienneté”	Formation.
G	Designer senior. Il prend les principales décisions durant le processus de conception, mais aussi d’industrialisation et de mise en production. Il est directement en lien avec les commerciaux et rédige la plupart du temps les cahiers des charges en fonction des études de marché que lui fournissent ces derniers.	Fondateur de l’entreprise, 30 ans de profession.	Design industriel à St Luc Liège.
TH	Engagé comme “manager de projet”, jusqu’à présent gestionnaire de projet, mais à qui il reviendra bientôt la charge de responsable « Cahiers de Charges, Techniques, Normes et Qualité ». Ses connaissances techniques et pragmatiques font de lui l’acteur privilégié d’échange avec les commerciaux lorsqu’il s’agit de négocier avec eux les caractéristiques des produits et leur faisabilité.	Engagé dans l’entreprise depuis 3 ans.	Ingénieur civil thermodynamicien
CH	Il est en charge principalement des produits 30 ; 30 UP et 30 COMPACT, ces deux derniers étant encore en stade de conception	Engagé dans l’entreprise depuis 10 ans. Designer le plus expérimenté de l’équipe en dehors de G.	Design industriel à St Luc Liège.
MA	S’occupe (entre autres) des projets 16 QA2 et SOCLES, en phase d’optimisation suite aux retours du marché.	Engagée depuis deux ans.	Design industriel à St Luc Liège.
J	Conception du 22, bientôt mis en production.	Engagé depuis cinq ans.	Design industriel à St Luc Liège.
Dessinateur	Rôle	“Ancienneté”	Formation.
JM	A travaillé avec CH sur le 30 et 30 UP, s’apprête à travailler avec MA sur le 16 QA2	Dessinateur le plus expérimenté, travaille depuis 4 ans dans l’entreprise.	Formation de programmeur, formation de dessin technique.
M	Modélise le 30 COMPACT avec CH	Travaille depuis moins d’un an.	Ingénieur civil.
JE	Travaille avec J sur le “22”.	Travaille depuis moins d’un an.	Ingénieur

Tableau 6 - présentation des acteurs du terrain.

Les opérateurs présentent donc des niveaux d’expertise différents, sont tous issus du même institut de design industriel mais n’ont cependant pas bénéficié de la même formation. On distinguera ici G de l’ensemble de l’équipe, qui ne contrôle absolument pas les outils de CAO 3D, et CH qui a dû se former “sur le tas” à l’utilisation du logiciel Pro-E présenté ci-dessous, contrairement aux autres designers qui ont reçu une formation à cet outil. L’équipe travaille à l’aide de trois outils médiateurs principaux, à savoir le logiciel de modélisation 2D et 3D « Pro-Engineer » (ou Pro-E), le dessin papier/crayon (“dessin”) et les prototypes qui leur sont fournis par le prototypiste en cours de projet.

Pro-E, dont on voit une capture d’écran, est un modelleur géométrique (cfr. point 4.8.2 de l’état de l’art) dédié aux opérations de tôlerie. Ils propose une modélisation par combinaisons de primitives de base, qui s’organisent les unes aux autres dans un “arbre”, abstraction informatique des relations qui les lient les unes

aux autres. Chaque pièce est paramétrable et l'outil est en mesure de fournir à l'utilisateur, entre autres (i) des alertes en cas d'infaisabilités de pliage de la tôle (rayons de courbures trop faibles etc.); (ii) une présentation simultanée des 3 vues (vue de face, de profil et du haut) et de la volumétrie de la pièce et (iii) des plans "dépliés" de la pièce de tôlerie, avec cotations précises et encombrements.

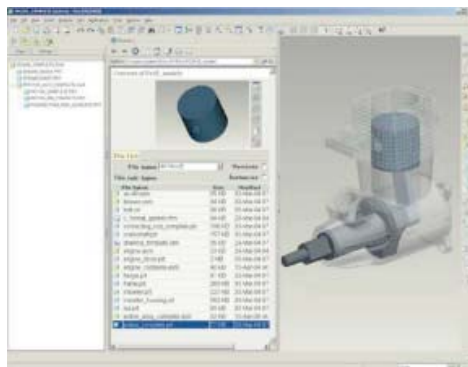


Fig 19 - Capture d'écran du logiciel "Pro-Engineer"®.

8.3.2. Méthode de recueil des données

Nous couplons dans cette section la présentation de la passation et de la méthode, celle-ci ayant été fortement influencée par les contraintes temporelles du terrain. L'intervention sur place devait se dérouler en cinq phases, réparties (avec l'accord de la direction) sur 13 jours ouvrables. Voici le Gantt initial²¹:

Gantt temporaire - proposition de programmation d'intervention sur le terrain - STÛV R&D													
	JOUR n°												
	J1	J2	J3	J4	J5	J6	J7	J8	J9	J10	J11	J12	J13
Lecture Cahier des Charges + Visites													
Familiarisation; présentation du projet													
Entretiens designers													
Entretiens dessinateurs													
Entretiens binômes													
Observations													
Verbalisations consécutives assistées													
j+ - retour d'expérience													
Intervention en heures LUCID	4	4	6	3	1,5	2+1	2+1	2+1	2+1	2+1	1,5	1,5	2
Interventions en heures STÛV	1	1	6×1	3×1	3×0,5	0	0	0	0	0	3×0,5	3×0,5	2
Proposition Agenda 2009	08.07	13.07	Semaine du 13.07			Semaines du 10 et 17.08						15.10	

Tableau 7 - Gantt initial de l'intervention.

Les deux premiers jours étaient consacrés à une présentation de l'intervention et la signature des accords de confidentialité (voir Annexes 7 et 8), familiarisation avec l'équipe, visite de l'entreprise et lecture de quelques cahiers des charges de manière à identifier les principaux codes du langage opératif. Les entretiens individuels et en binômes auraient été prévus des jours 3 à 5, tandis que les observations in situ auraient eu lieu des jours 6 à 10. Deux jours de verbalisations consécutives assistées étaient programmés ensuite dans l'hypothèse où des compléments d'information auraient été nécessaires, et enfin le jour 13, fixé à une date ultérieure, constitue le retour d'expérience promis à l'équipe et la direction.

Les contraintes temporelles de l'équipe et les départs en vacances (l'entreprise fermant ses portes du 17 juillet au 18 août) ont fortement remodelé l'intervention, comme le présente le Gantt final :

²¹ Dont la faisabilité a été validée par une Professeur Psychologue Ergonome de l'Université de Liège.

Gantt temporelle - proposition de programmation de l'intervention sur le terrain - STÔV R&D											
	JOUR n°										
	J1	J2	J3	J4	J5	J6	J7	J8	J9	J10	J11
Lecture Cahier des Charges + Visites											
Familiarisation; présentation du projet											
Entretiens designers											
Entretiens dessinateurs											
Entretiens binômes											
Observations											
j+ - retour d'expérience											
Intervention en heures LUCID	4	4	6	8	8	8	8	8	8	8	2
Interventions en heures STÔV	1	1	6×1	3×1	3×0,5	0	0	1	1	0	2
Proposition Agenda	08.07.09	13.07.09	Semaine du 13.07.09					21.07	19.08	21.08	15.10.09

Tableau 8 - Gantt réel de l'intervention.

L'intervention a donc été concentrée sur 11 jours, dont le dernier (retour d'expérience) est fixé à fin octobre 2009 (à la demande de la direction). Le Gantt présente en couleur les modifications d'agenda : on observe que les observations ont eu lieu sur un nombre de jours plus important, en parallèle avec la réalisation des entretiens. Les verbalisations consécutives ne se sont pas avérées nécessaires. Nous présentons ci-dessous plus en détail les différentes étapes de l'intervention.

Les entretiens et analyses rétrospectives.

Une première phase d'entretiens semi-dirigés s'est organisée en 2 temps. Dans un premier temps ont été organisées des entrevues individuelles avec les designers, de manière à dresser leur profil, les interroger quant à leurs méthodologies, les outils qu'ils utilisent, la manière dont ils collaborent et avec qui (voir grilles d'entretien en Annexe 9). Il a été fait de même avec les dessinateurs : nous nous sommes intéressés de plus à leur processus, aux méthodes de modélisation qu'ils utilisent, aux inconvénients et avantages de leurs outils et aux modalités de leur collaboration avec les designers. Tout comme pour les entretiens effectués lors de l'étude exploratoire, le discours a été au maximum des possibilités recentré sur des réalités du quotidien grâce à l'utilisation d'analyses rétrospectives de projets passés et/ou en cours. Il était demandé aux opérateurs de dérouler un processus de conception en se basant sur toutes les traces possibles conservées. Des photos et des scans des documents ont été effectués, tandis que les interactions à l'écran qui ont eu lieu lors de l'entretien ont été enregistrées à l'aide d'un système de capture d'écran dynamique.

Les entretiens avec les binômes initialement prévus (voir grilles d'entretien en Annexe 10) se sont organisés de manière plus opportuniste, au fil des entretiens individuels et des interactions qui pouvaient se faire spontanément. Les analyses rétrospectives ayant principalement lieu face à l'écran de l'ordinateur fixe, les entretiens individuels ont dû se faire sur le bureau "open-space" partagé. Les binômes de concepteur/dessinateur travaillent côte à côte, et les échanges occasionnés lors des entretiens individuels ont suscité sans cesse des interactions qui complétaient peu à peu les données nécessaires. Au final, un seul entretien en binôme a été organisé tel que planifié au départ. Tous les entretiens ont par ailleurs été enregistrés sous format audio, et leur durée varie d'une demi heure à plus d'une heure trente.

Les observations de projets en cours.

L'intervention est mise sur pied de manière constante (sur toute la journée de travail, pendant 9 jours) mais non intrusive. L'accord de toute l'équipe ayant été obtenu au préalable, nous avons pu nous installer à une table libre, au coeur du bureau "open-space", ce qui a permis de capter directement de nombreuses sessions de conception, présentant toutes leurs modalités propres. Ces sessions ont été enregistrées de façon audio, et vidéo lorsque cela s'avérait nécessaire. On a ainsi capté 13 "moments de conception", "micro-réunions" en cas de session collaborative. Ces réunions n'étaient pas planifiées en avance, et ont lieu autour d'une table, de la machine à café ou dans l'atelier. En général, trois personnes y prennent part : le designer "chef de

projet”, G parfois lorsque des décisions doivent être prises, et éventuellement le dessinateur ou le prototypiste lorsque des noeuds technologiques doivent être discutés. Une fois ces micro-réunions achevées, les sessions individuelles de conception, lorsqu’elles avaient lieu, ont également été suivies et filmées, de manière à capter l’impact direct de la réunion à peine achevée sur le processus individuel de conception.

Les états d’avancement des divers projets nous ont fourni trois problématiques de conception plus précises : le problème du registre d’air, la définition de la version haute du 30 COMPACT ainsi que la modification de l’épaisseur du tambour²² du 30 et ses conséquences techniques. Le registre d’air peut très simplement se présenter comme une valve de régulation de passage de l’air frais dans la chambre de combustion, ce réglage se faisant manuellement. On retrouve cette valve sur tous les poêles à bois, elle est classiquement montée dans le tube d’extraction d’air mais se situe donc ici en partie basse du poêle. La problématique posée est la redéfinition du mécanisme d’ouverture/fermeture de la valve.

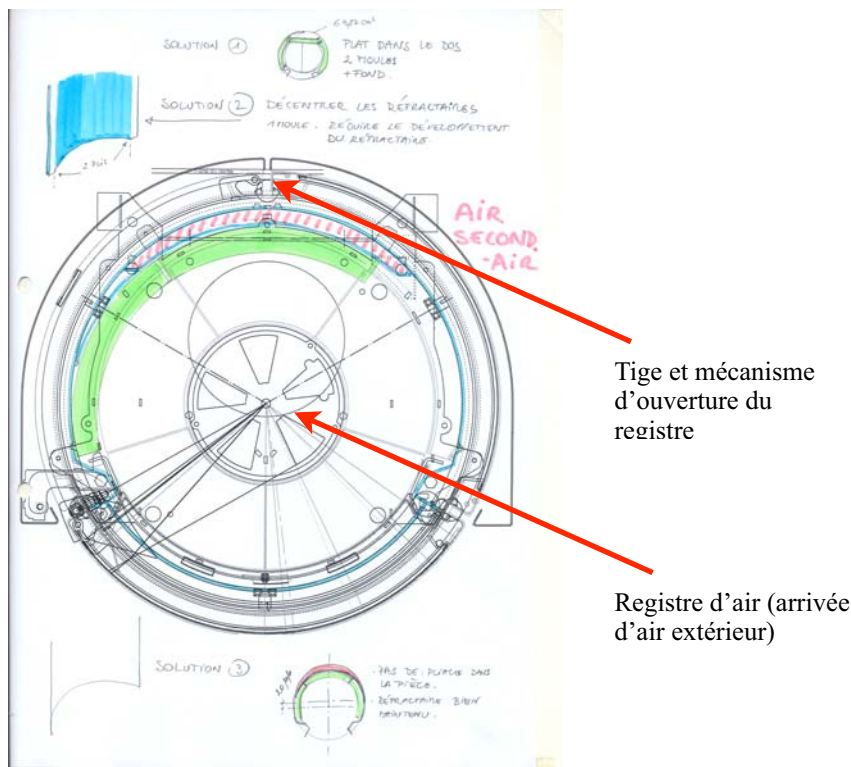


Fig 20 - Vue en coupe du registre d'air.

Dans la version haute du 30 COMPACT, nous nous intéresserons à la définition de la nouvelle vitre. Le foyer voyant ses dimensions verticales s’élancer, G désire en effet agrandir la vitre et donc la vue du feu lorsque le foyer est en position « feu ouvert avec vitre », ce qui a des conséquences sur la conception de la porte dans son entièreté. Enfin, G désire rentabiliser au maximum le 30 et le 30 UP et désire diminuer le prix de revient. Pour cela, il demande à CH de redéfinir l’épaisseur de tôle cintrée utilisée comme capot cylindrique extérieur des foyers et des tambours. Le mode de cintrage, de soudure et de connectique de la plaque sont revus, avec les conséquences sur la conception.

Ces différentes problématiques présentent des modalités de la collaboration et même des séances de conception individuelles multiples : on passe de la prise d’information au partage de point de vue, de l’explication à un dessinateur junior à une co-conception menant à d’importantes modifications. Le suivi d’un processus de conception dans sa globalité était impossible dans l’intervalle de temps de l’intervention (chaque projet étant développé en 2 à 3 ans en moyenne), mais cette méthode a le mérite de récupérer ici des informations suffisamment bien réparties sur l’échelle temporelle de développement formel, technique et productif de conception.

²² Tambour : partie arrondie basse du foyer récupérant les cendres, et qui constitue également la base pivotante du foyer.

8.4. Opérationnalisation des hypothèses

Le choix de la méthode de traitement des données s'est fait en lien direct avec les hypothèses définies à la section 7, que nous rappelons brièvement ici :

Hypothèse 1 - non dichotomie des méthodes de conception : la comparaison « designers qui dessinent » et « designers qui modélisent sur ordinateur » n'a de sens que si on l'intègre dans ses contextes de travail, et l'observation mène à une dissolution de cette dichotomie.

Hypothèse 2 - les modalités de la collaboration et les collaborateurs eux-même ont une influence sur les propriétés et fonctions des représentations externes et des outils médiateurs.

Les différentes phases de l'intervention, soit les entretiens couplés aux analyses rétrospectives d'une part et les observations instantanées d'autre part, vont communément nourrir l'étude de ces hypothèses. Le traitement des données y est donc intimement lié. Chaque hypothèse a été décomposée en sous-groupes de thématiques, qui faisaient appel à des observables précis. Cette décomposition en sous thématique peut être résumée comme suit :

Sous thématiques hypothèse 1	Appellent les observables suivants :
Non-dichotomie dans l'utilisation des outils médiateurs	Quels outil utilisé à quel moment ? Pour quoi faire ?
Non-dichotomie des métiers de designer/dessinateur	Processus cognitifs mis en jeu ? Pour quoi faire ?
Impact des contextes de travail	Contraintes impliquées ? Objectifs ?
...	
Sous thématiques hypothèse 2	Appellent les observables suivants :
Impact des collaborations	Avec qui collabore-t-on ? pourquoi ? sur quel support ?
Propriétés et fonctions des représentations externes	Quel type de représentation ? Modalité de représentation ? Fonction de la représentation ? Objectif poursuivi ?
Propriétés et fonctions des outils médiateurs	Méthode d'exploitation de l'outil ? Type de modèle sous-jacent ?
...	

Tableau 9 - Décomposition des hypothèses à tester en observables opérationnels.

Tous les observables ainsi définis sont rassemblés dans une grille d'analyse qui peut être trouvée en Annexe 12. L'objectif de cette grille d'analyse est de pouvoir retracer l'historique précis de plusieurs types de projets, et de dresser une "ligne du temps" sur base des données récoltées. Cette ligne du temps schématisée permettra d'évaluer les hypothèses et les questions en lien et d'inférer les conséquences pour la recherche, l'intervention en ergonomie etc. Une ligne du temps hypothétique est présentée ci-dessous :

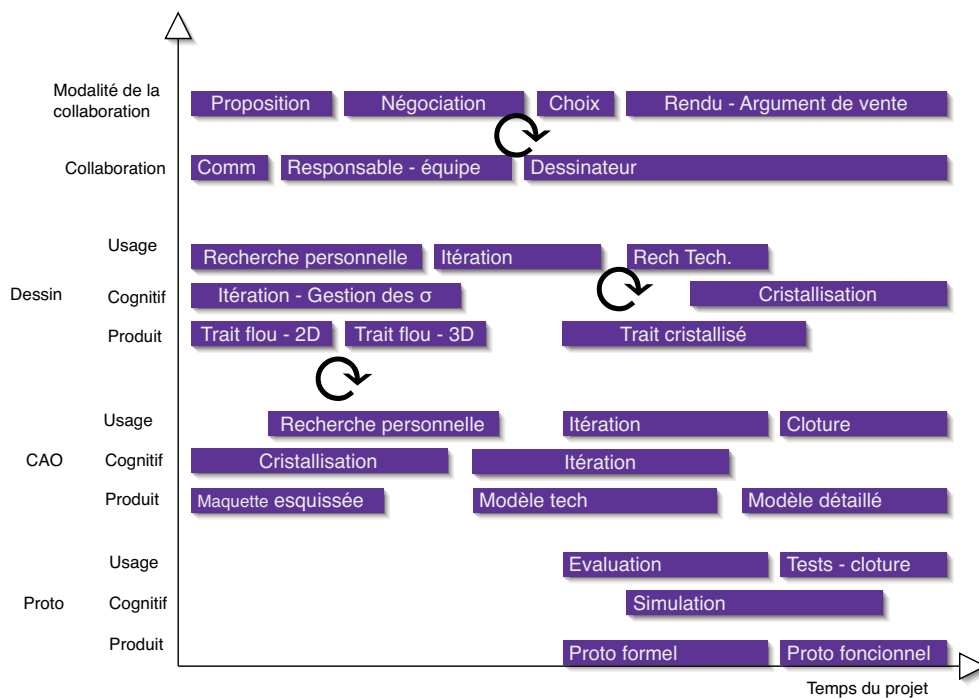


Fig 21 - Exemple d'une ligne du temps hypothétique.

Elle est constituée, en abscisse, du temps du « moment de conception » capturé. L'échelle temporelle va évidemment énormément varier entre une ligne du temps issue d'un entretien, relatant l'ensemble d'un processus de conception (long parfois de plusieurs mois) et une ligne du temps issue d'un "moment" de conception observé à une échelle plus microscopique. En ordonnée elle présente les différents critères étudiés, dont les modalités constituent les données récoltées (la présente représentation ne présente pas les critères et modalités dans leur exhaustivité).

Cette méthodologie globale est appliquée à chaque entretien, à chaque observation, en tenant compte de sa spécificité propre et de son échelle temporelle. La grille d'analyse des contenus présente bien entendu un caractère global. Toutes les sessions d'entretiens ou d'observations ne vont pas pouvoir apporter des réponses systématiques à toutes les modalités présentées, ce qui va conduire à des lignes du temps plus ou moins complètes selon les cas. Elles permettront néanmoins d'observer, sur un axe vertical, les occurrences d'utilisation des outils médiateurs en fonction des "contextes" du projet.

Les analyses menées présentent donc principalement un caractère qualitatif. Elles nous semblent en effet globalement plus porteuses de sens dans le contexte de l'examen minutieux d'une activité de conception telle que le design industriel. Nous rejoignons ici Brassac et Grégori (2003). Leur étude, fort bien construite, portant sur les irréversibilités des processus, démontre en effet l'intérêt de certains instants ("sauts") de conception, isolés et très courts, porteurs d'une signification primordiale pour la compréhension du processus, et qui seraient négligés et mis au second plan au travers d'une analyse plus quantitative. Ces mêmes auteurs soulignent "l'effet inattendu et pourtant décisif d'une production graphique" (Brassac et Grégori, 2003, p.121), qui s'explique par leur fonction dynamique au sein de ce même processus.

8.5. Traitement des données

8.5.1. Traitement des entretiens, analyses rétrospectives et observations

Les entretiens, enregistrés et accompagnés de leurs multiples traces (photos, scans, croquis soutenant le discours, captures d'écran dynamiques), ont été retranscrits selon deux méthodes consécutives. La première, pour une courte partie de l'entretien de MA, est la retranscription en "mot à mot" du verbatim récolté. Cette méthode, trop longue et coûteuse pour les résultats attendus, a été rapidement abandonnée pour une écoute plus "globale" mais très attentive. Le verbatim a été en effet découpé, question par question, en sous-thématiques qui ont été résumées au plus proche du contenu réel du verbatim. Les inflexions, intonations, (tout comme pour l'étude exploratoire) n'étaient pas considérées comme cruciales ici et n'ont pas fait l'objet d'une analyse. On retrouvera la retranscription complète de ces entretiens en Annexe 11. Les observations in situ, de par leur contenu verbalisé parfois "pauvre", n'ont pas été retranscrites mais analysées directement à l'aide de la grille présentée plus haut (cfr. Annexe 12). Les analyses de cinq processus de conception découlent des analyses croisées des entretiens des différents acteurs y ayant pris part et des observations réalisées sur place. On présentera pour chacun de ces processus

- la liste des acteurs qui ont participé;
- les contraintes et spécificité du produit;
- les caractéristiques intéressantes du processus de conception;
- la ligne du temps déroulant le processus dans toutes ses phases (portée en Annexe 13);
- une seconde ligne du temps schématique, se basant sur notre modèle (cfr. Figure 21). Celle-ci nous permettra de constater d'éventuels invariants du processus, des contextes, et de l'utilisation des outils médiateurs susceptibles d'apporter des éléments de réponse au test des hypothèses.

Analyse rétrospective 1 : le processus de conception du "30"

Liste des acteurs : G, CH et commerciaux.

Contraintes et spécificité du produit.

Ce produit est une des premières réussites de l'entreprise. L'idée fondatrice date de plus de 10 ans. L'ancêtre du 30 était alors nommé le "triftyque". Il découle d'une observation du marché existant à l'époque : un regain d'intérêt pour les poêles, associé à une demande d'un nouveau "look" (les poêles à l'époque étant assez rustiques). G fait alors une étude de marché et observe les gammes de produits disponibles : (i) le poêle fermé, choisi pour son efficacité; (ii) le poêle à feu ouvert : rendement nul, mais plaisir avant tout; (iii) le poêle à vitre, le plus courant. Il a alors l'idée de rassembler les trois fonctionnalités dans un même produit : le triptyque ("à trois portes").



Fig 22 - un des premiers croquis du triptyque.

Caractéristiques intéressantes du processus de conception.

Definitions: *Wdh*
 - *Wdh* = *Wdh*
 - *Wdh* = *Wdh*

Technische Details:
 - *Technische Details*
 - *Technische Details*

Einflussfaktoren:
 - *Einflussfaktoren*
 - *Einflussfaktoren*

Materialien:
 - *Materialien*
 - *Materialien*

Montage:
 - *Montage*
 - *Montage*

Wartung:
 - *Wartung*
 - *Wartung*

Sicherheit:
 - *Sicherheit*
 - *Sicherheit*

Umwelt:
 - *Umwelt*
 - *Umwelt*

Wirtschaftlichkeit:
 - *Wirtschaftlichkeit*
 - *Wirtschaftlichkeit*

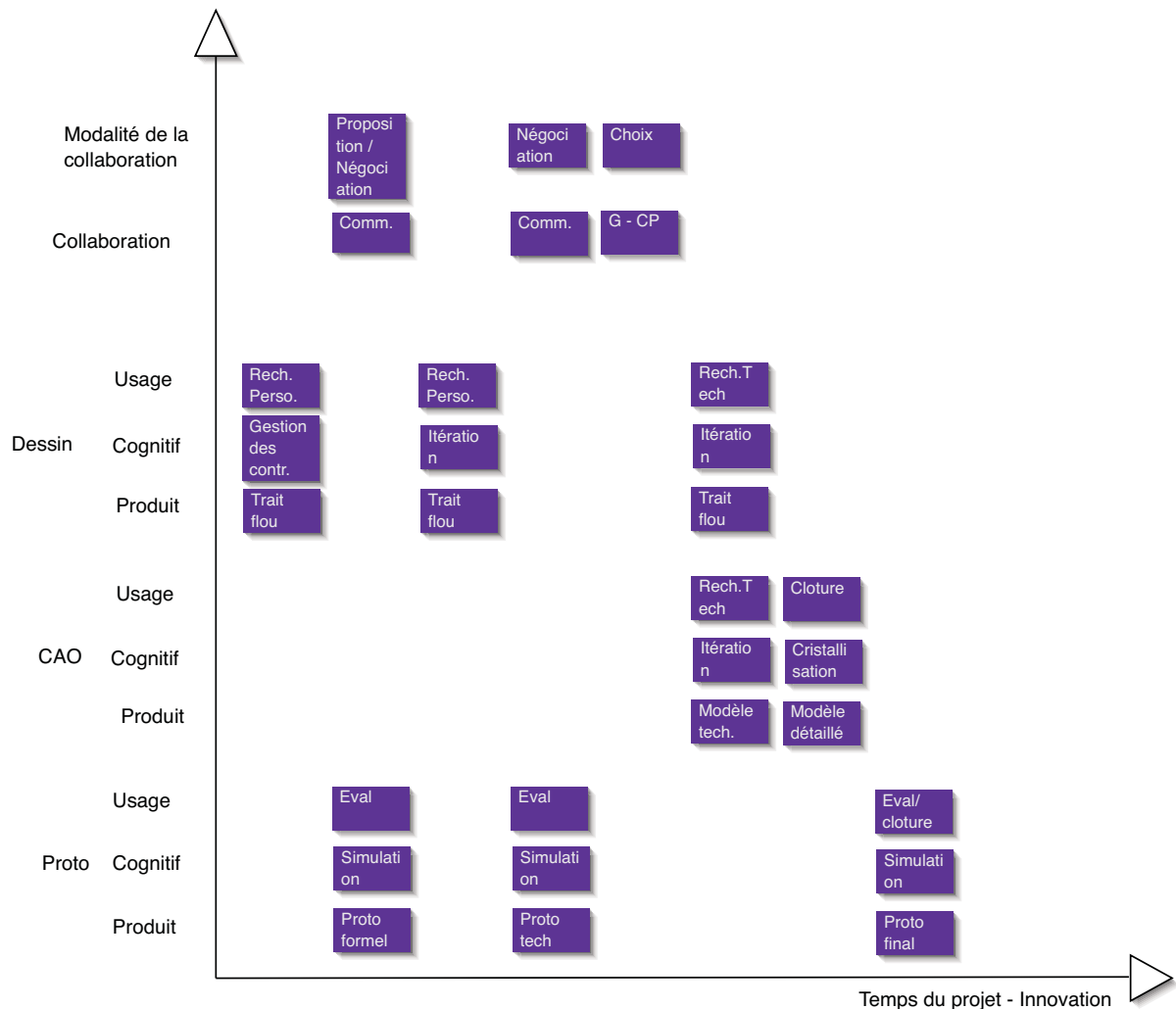
Verwendung:
 - *Verwendung*
 - *Verwendung*

Alternativen:
 - *Alternativen*
 - *Alternativen*

Zusammenfassung:
 - *Zusammenfassung*
 - *Zusammenfassung*

57

Ligne du temps schématique.



Analyse rétrospective 2 : le processus de conception du “30 UP”

Liste des acteurs: G comme designer senior, CH comme designer/dessinateur dans un premier temps, rejoints ensuite par JM, dessinateur professionnel.

Contraintes et spécificité du produit.

Le produit “30 UP” fait partie de la même gamme que le “30”, et constitue la version suspendue. Son profil est globalement identique à 30, en dehors de quelques dimensions (hauteur notamment), et c’est surtout au niveau technique que les différences apparaissent.

Caractéristiques intéressantes du processus de conception.

Après quelques séances de conception collaboratives avec G et une formation à Pro-E, CH s’attelle à la modélisation 3D du produit. Etant débutant dans l’utilisation de Pro-Engineer, cette modélisation coûte énormément de temps au développement du produit, et G décide alors de faire appel à un dessinateur professionnel, JM. Celui-ci s’approprie la première modélisation “grossière” de CH, s’installe à l’autre bout de l’entreprise et commence à remodeliser tout par lui même. Les conditions de travail sont telles que CH et JM échangent à peine à propos du produit : quelques dessins sont fournis à JM, mais sans un réel suivi de son travail. CH de son côté continue à développer des concepts pour résoudre les “noeuds techniques”.

Ceux-ci sont définis par les opérateurs comme “les éléments que l’on repère rien qu’à la complexité du dessin”.



Fig 24 - un exemple de noeud technique : roulement à bille pour la rotation des portes. On observe que le travail de conception se fait sur base d'un fond de plan imprimé, obtenu automatiquement de la modélisation 3D Pro-E.

Ces noeuds techniques apparaissent tout au long du processus, et les designers retournent systématiquement vers le dessin pour les résoudre, quelque soit l'état d'avancement de la modélisation existante. Voici un autre exemple de résolution de noeud technique, qui nécessite des développements neufs tant sur le plan technique que formel. Cette page de dessins est réalisée très rapidement et efficacement grâce au “coup de crayon” rapide de CH.

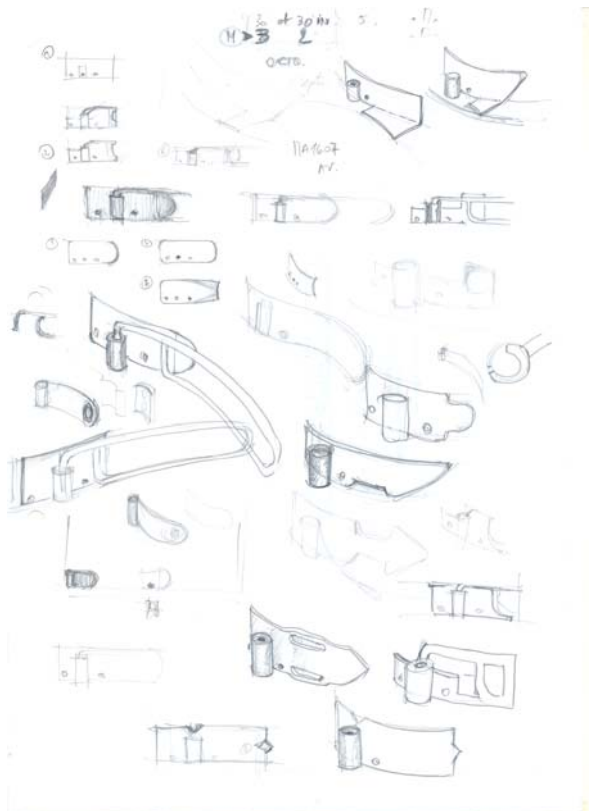


Fig 25 - un exemple de noeud technique avec développement formel : définition de la main froide pour l'ouverture du poêle.

La conséquence de cette “co-activité” est un premier prototype qui est, à leurs dires, “une véritable catastrophe”. Succède à cette phase peu productive une véritable collaboration, ou “co-conception” : JM vient s’installer à côté de CH, et cette proximité géographique assurera la réussite de la suite du projet. Les nombreuses erreurs, listées par le prototypiste au cours de la construction du prototype, sont relatées dans le “Plan d’Eradiction de Défauts” (voir un exemple en Annexe 16.8). Celui-ci est réceptionné par CH, qui croque pour chaque difficulté de nouvelles solutions techniques, schémas de principe qu’il propose parfois à G pour validation avant de les fournir à JM pour modélisation. L’outil de dessin à main levée réapparaît donc à plusieurs reprises tout au long du processus. Il permet d’évaluer rapidement des schémas conceptuels, propositions techniques mais aussi formelles, d’un rapide coup de marqueur.

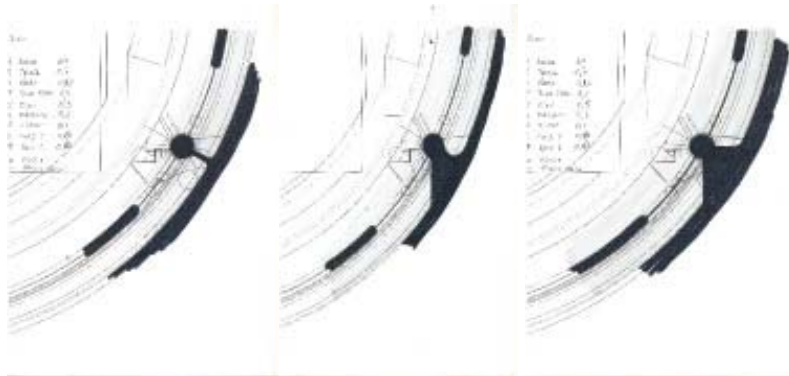


Fig 26 - un fond de plan imprimé plusieurs fois et quelques coups de marqueur suffisent à évaluer une proposition formelle et/ou technique. Ici, la forme de l’interface entre tambour et portes coulissantes.

Ces propositions sont également évaluées au travers de croquis purement conceptuels, ne reposant sur aucune “structure géométrique”. Ces “tests” peuvent prendre diverses formes et échelles.



Fig 27 -retour vers le croquis conceptuel, suite au test formel de plusieurs solutions pour l’interface “tambour/portes coulissantes”.

Ces dessins de recherche formelle sont plutôt personnels, les dessins fournis à JM pour la modélisation présentent usuellement un contenu plus “explicite”, allant plus vite “droit au but”.

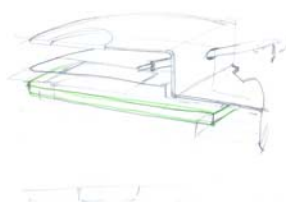
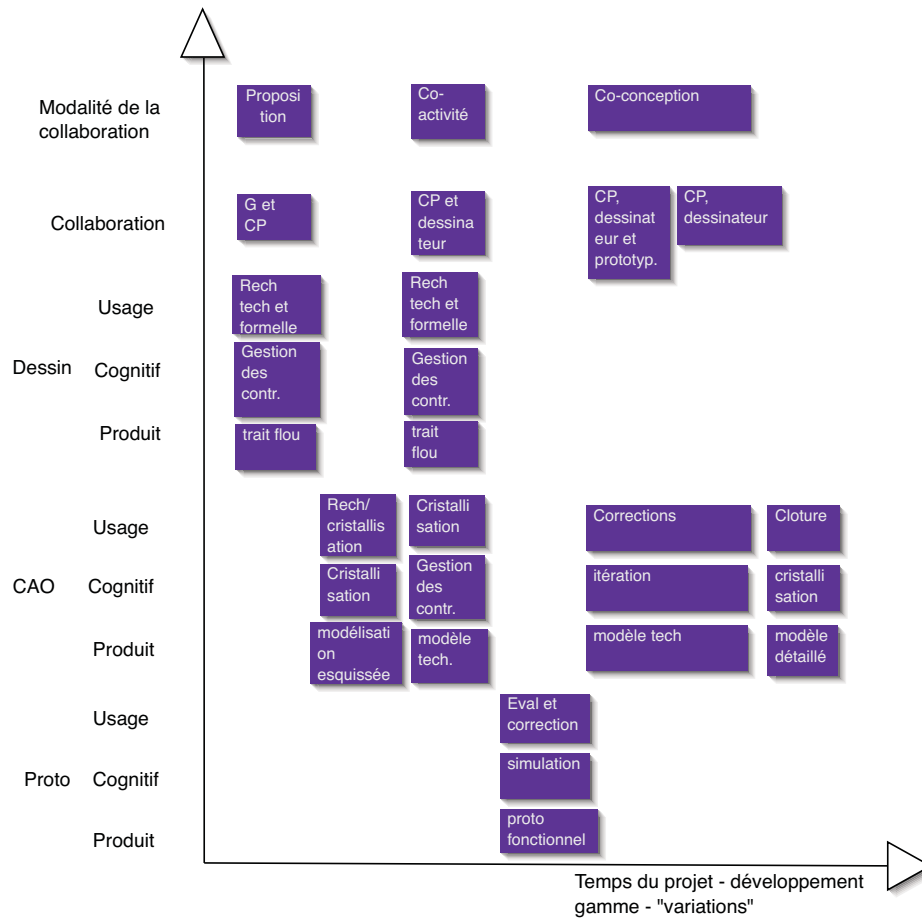


Fig 28 -dessin technique fourni à JM pour modélisation.

Ligne du temps schématique.



Analyse rétrospective 3 : le processus de conception des socles du 16QA2

Liste des acteurs: G en tant que designer senior, MA en tant que designer "chef de projet". Interventions temporaires des commerciaux, prototypistes.

Contraintes et spécificité du produit.

Le QA16 est un des produits phare de la gamme "feux ouverts type insert" de l'entreprise. Après sa mise en vente, les commerciaux ont fait savoir à l'équipe de R&D que les quelques "cadres" métalliques de finition plaisaient beaucoup à la clientèle, et qu'il serait sans doute intéressant de mettre sur pied une gamme de feux ouverts non encastrés présentant la même "présence architecturale". Ces feux devraient être posés sur des socles métalliques, accessorisés de tiroirs et d'une "raque" à bûches (rangement pour bûches).

Caractéristiques intéressantes du processus de conception.

Cette revue de conception a le mérite d'être complète puisque le produit est déjà sur le marché. G prend en compte la demande des commerciaux et travaille directement sur l'ordinateur. Il conçoit rapidement, sur Autocad 2D®, des plans et une volumétrie d'une première proposition. Ce recours si rapide à l'outil de CAO, inhabituel pour lui, est expliqué par la relative simplicité de la volumétrie proposée. G dit "avoir tout conçu dans sa tête" et n'avoir produit la CAO "que pour convaincre les commerciaux". MA est alors engagée et reprend le projet en main. Elle reçoit la première version informatisée, fait quelques recherches de son côté et propose, sous forme de dessins, plusieurs solutions aux quelques noeuds techniques relevés. MA dit à ce propos : "je reçois de G cette première **esquisse** (comprendre : le premier fichier autocad) proposant le

plan de pliage d'une tôle pour former le socle, réceptacle d'un tiroir. Je ne pars pas directement sur cette option, mais en investigue d'abord d'autres : étude des différentes solutions pour fabrication avec un min de chutes, d'opérations, ... Il faut toujours faire une étude plus complète, pour éviter dans six mois de se rendre compte que ce n'était pas la bonne solution, tout simplement parce que G n'avait pas eu le temps de se plonger en profondeur dessus.” Cet extrait souligne la polysémie du terme “esquisse” utilisé ici pour désigner le fichier Autocad 2D® reçu de G.

MA continue le développement du produit, et modélise en 3D le produit sur Pro-E. La modélisation la confronte alors à quelques “infaisabilités qu'on avait pas remarquées sur le papier”. Parmi ces noeuds techniques, elle doit concevoir un bouchon destiné à cacher le trou d'arrivée d'air extérieur lorsque cette option n'est pas choisie par le client. Elle repasse alors au dessin, croque rapidement 10 solutions, en sélectionne une qu'elle va alors seulement modéliser.

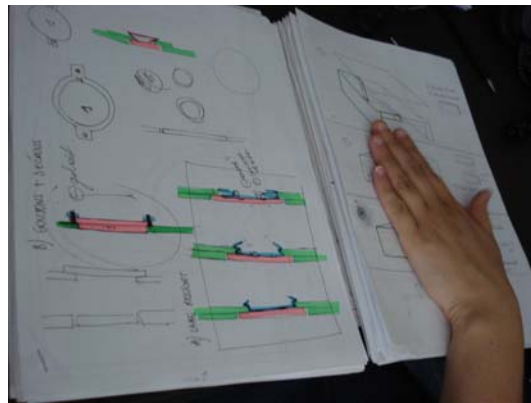
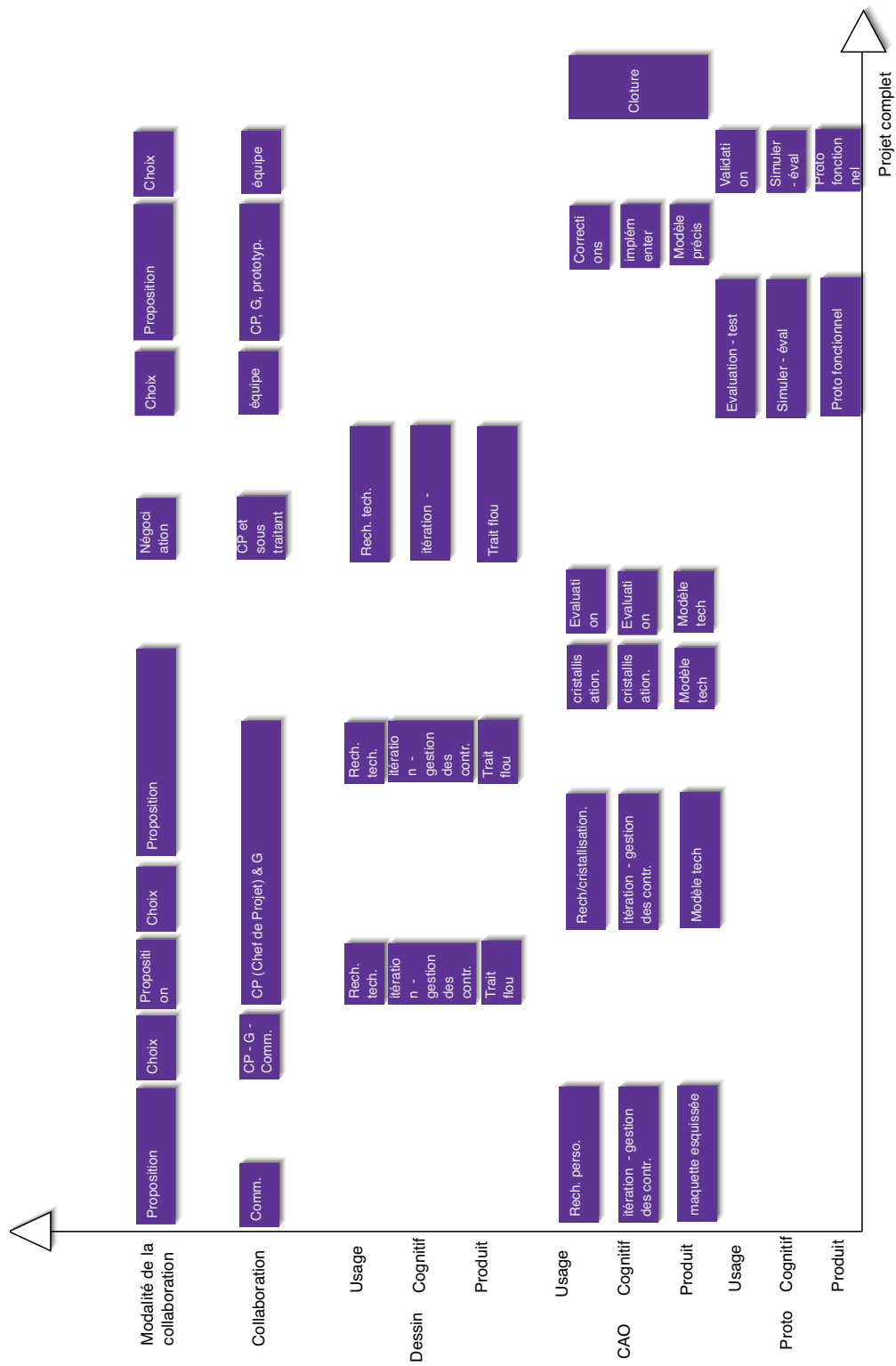


Fig 29 -quelques variations dessinées sur le thème du “bouchon”.

Le modèle 3D confronte MA et G à un souci formel également : : le format de caisson en 60 sur 120 cm, qui semblait esthétiquement parfait et suffisant pour ranger le matériel, une fois modélisé, s'est avéré insuffisant pour faire passer le ventilo et l'arrivée d'air extérieur. Le formel a donc dû évoluer, suite au recours à la CAO. Un premier proto est alors généré, afin de tester par exemple la résistance au poids du feu ouvert. Ce proto, présentant un aspect “quasi-fini” sert également d'outil médiateur de négociation face aux commerciaux. Sur la ligne du temps, on a reporté les moments où MA, d'après ses dires, aurait fait appel à un dessinateur s'il y en avait eu un disponible à l'époque. Durée du projet jusqu'au proto final : un an.

Ligne du temps schématique.



Analyse rétrospective 4 : processus de conception de la porte du 30 COMPACT, version haute.

Liste des acteurs: G comme designer “senior” et “chef de produit”, CH non pas en tant que designer mais plutôt comme “dessinateur conseil” et M comme dessinateur.

Contraintes et spécificité du produit.

Dans la gamme des “30”, se développe actuellement le “30 COMPACT”, petit poêle à bois dont la vocation innovante est de pouvoir être installé dans les petits espaces tels que les appartements. D’aspect formel plus ou moins équivalent à ses prédécesseurs (le “30”, “30 UP”), il présente néanmoins une volumétrie plus élancée, plus haute et moins large.

Caractéristiques intéressantes du processus de conception.

M est jeune dessinateur/ingénieur engagé pour la remodelisation complète du produit sur base de ce qu'un sous-traitant avait déjà fait auparavant. Cette modélisation étant pleine d'erreurs, M, sur les conseils et avec l'aide de CH (il ne connaît en effet pas encore toutes les complexités techniques de ce poêle) se base sur les modélisations des produits de la même gamme (30 UP principalement) pour reconstruire entièrement le modèle virtuel du produit. G, chef de projet, continue à dessiner et faire évoluer le produit en parallèle. Il fournit fréquemment à M des croquis techniques sur base de fonds de plan imprimés. Ces dessins représentent des concepts plus ou moins détaillés, que M doit s'approprier, comprendre, dont il doit examiner la faisabilité (aspect "ingénieur" de sa tâche) pour ensuite les modéliser sur Pro-E. C'est ce même type de processus de modification - optimisation qui nous intéresse ici, lorsque G arrive un matin avec un dessin d'une nouvelle porte pour M. G réalise en effet que les dimensions plus élancées du "30 COMPACT" permettent une vue plus importante sur le feu, et il décide en conséquence d'agrandir la partie vitrée de la porte. Il fournit le dessin suivant à M :

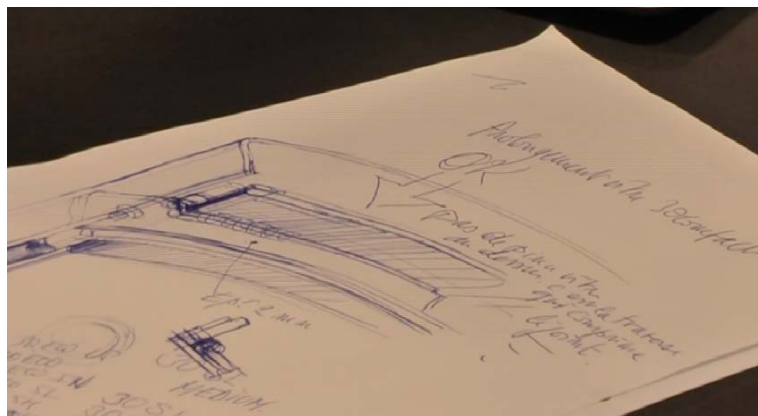


Fig 30 - dessin en perspective fourni par G à M.

Ce dessin recèle pour M de multiples significations : il représente la porte vue de l'intérieur, avec certaines pièces qui se voient modifiées dans leur forme, des joints à ajouter etc. M dit "voir directement où il veut en venir" (modifier la vitre) grâce à ce dessin. Ayant déjà modélisé la porte auparavant, il en connaît le fonctionnement: il a dû la modéliser pièce par pièce, ce qui lui permet de bien appréhender les conséquences de cette nouvelle modification. Il sait ainsi directement quelles pièces seront modifiées, de quelle manière ... Il dit à ce propos : "L'esquisse m'a suffi même s'il y a l'implicite - c'est ma propre connaissance de l'objet". Il a pu se rendre compte :

- i) qu'il manquait un détail de découpe de la vitre dans la partie haute;
ii) que, n'ayant pas dessiné la partie basse, G ne s'était pas rendu compte que l'espace nécessaire au placement de la vitre manquait (il faut l'incliner pour la glisser derrière une pièce métallique, et cette inclinaison a des conséquences).

Il a pu détecter ces problèmes assez tôt, alors qu'ils n'apparaissent pas sur le dessin, grâce à une première modélisation "rapide", que nous appellerons "de principe". Il nous explique également que la re-modélisation complète lui a permis de lister plusieurs erreurs faites lors de la première modélisation par un sous-traitant. Par exemple, un disque métallique encadre le tambour (en rouge sur la photo), et doit être glissé d'une telle manière que le jeu défini jusqu'alors est beaucoup trop faible.



Fig 31 - photo de l'écran de M : il nous montre le disque rouge.

Nous observons à cet instant qu'il fait un geste particulier pour exprimer l'impossibilité de positionner cette pièce si ce jeu n'est pas corrigé :

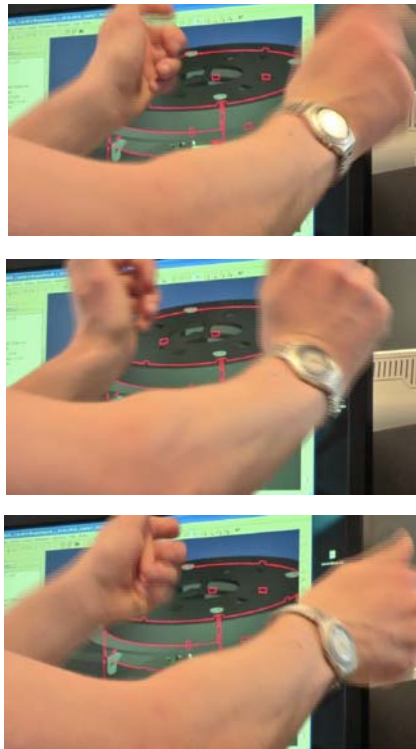
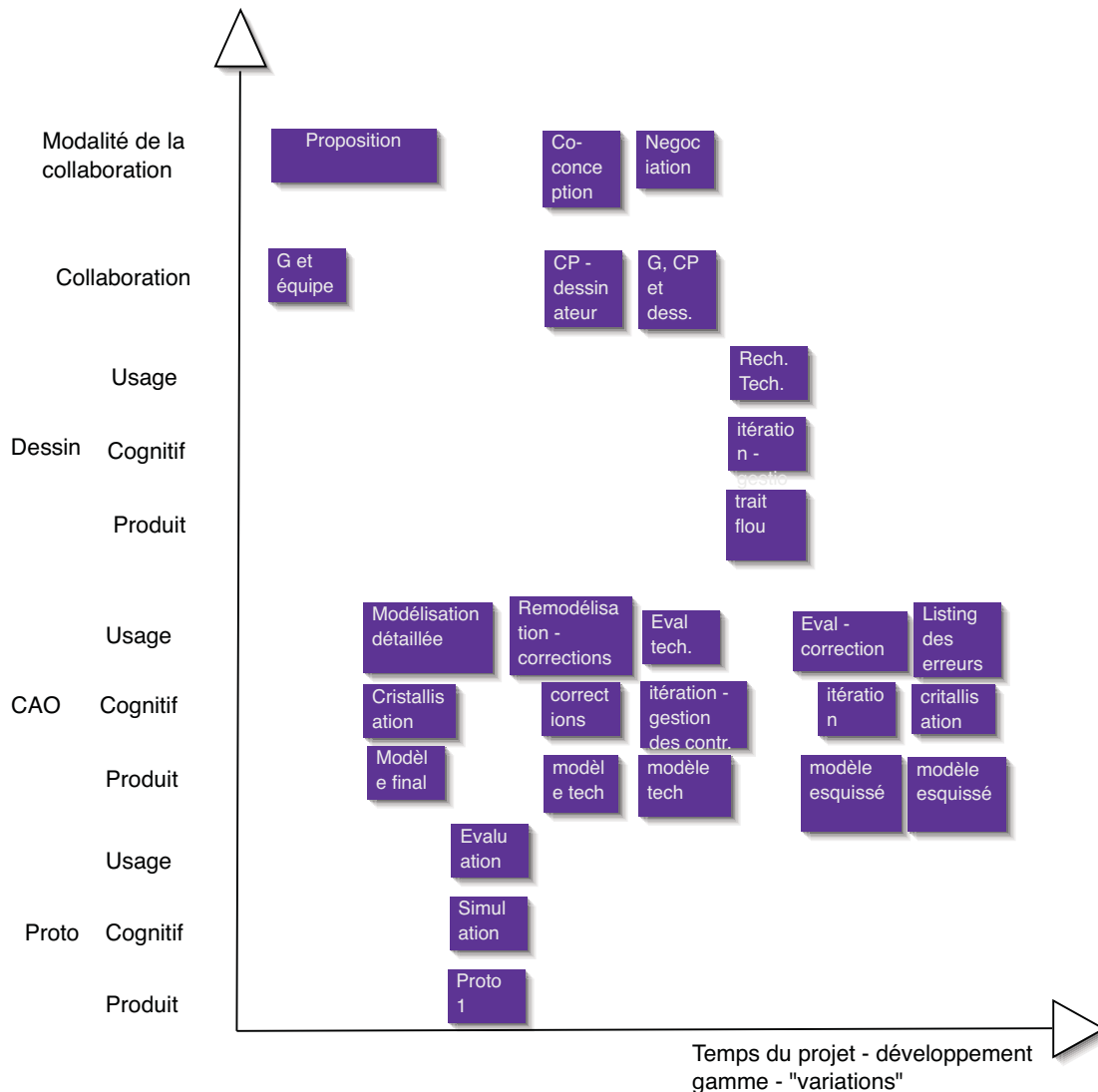


Fig 32 - l'opérateur nous explique une problématique en exploitant le geste.



Liste des acteurs: Plusieurs acteurs concourent à ce projet : J comme designer “chef de projet”, G toujours comme designer “senior”, rejoints plus tard par JE en tant qu’ingénieur/dessinateur, ainsi que les opérateurs du “labo feu” et enfin TH (au cours de quelques réunions) comme expert thermodynamicien.

Dans la large gamme des “21” que nous n’abordons pas ici, soit de grands feux ouverts encastrés, le “22” se présente comme la plus importante innovation du département, soit le produit qui devrait assurer l’avenir de l’entreprise. Ce feu ouvert à porte escamotable tente de répondre aux limitations relevées dans la gamme du “21”. Les contraintes de déperdition thermiques trop importantes par exemple : l’idée est de trouver un foyer qui ait la même prestance qu’un grand foyer de 1m25 de large, mais en restant dans des puissances qui n’excèdent pas 10 kW pour s’adapter à l’habitat. Il faut diminuer la puissance nominale (puissance à laquelle le feu brûle le mieux, avec le moins de rejets toxiques, notamment de CO). Or, pour une bonne puissance nominale, il faut une haute température, et donc a priori plus la chambre est grande, plus il faut mettre de

bûches pour qu'elle reste chaude. Un grand foyer et une belle vue sur le feu nécessitent beaucoup de bois, ce qui est donc en totale opposition avec les optimums thermiques à atteindre.

La solution pour laquelle G a opté ici est l'utilisation de flancs courbes pour le foyer : ces flancs permettront de garder une vision très panoramique sur le feu tout en diminuant par trois la surface du foyer, ce qui conditionne la puissance du feu (le prédécesseur, le 21, est lui parfaitement parallélépipédique). Une autre innovation est de permettre la pose verticale des bûches, ce qui concourt à l'atteinte de mêmes objectifs (vue agréable, rendement nominal optimal).

Caractéristiques intéressantes du processus de conception.

G présente à J l'état de ses premières recherches : flancs courbes, ou en tout cas en angle, et des bûches à la verticale et non plus à l'horizontale, pour réduire la surface. Partant de ces nouvelles idées, J fait une bonne dizaine de maquettes en carton, présentant plusieurs déclinaisons, plusieurs inclinaisons (de bûches), et sur base de ces maquettes ils sélectionnent la courbure du flan, ainsi que la courbure du dos incliné. Ensuite seulement l'équipe passe à la finalisation du Cahier des Charges, sur base de croquis fonctionnels de répartition des pièces et leur fonctionnement (graphe de structuration topologique).

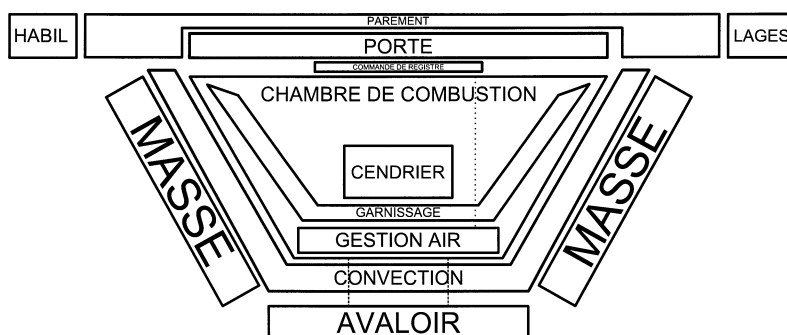


Fig 33 - graphe topologique du "22".

Notons au passage que J est le seul designer à avoir recours à la maquette, en carton ici. Il explique à ce propos que *"l'emploi du carton se justifie par le fait que par rapport à la tôle, le carton présente les mêmes propriétés : la mise en forme est identique : on peut le cintrer, le plier, ... ça va vite, ça se colle, ça se coupe, ça permet de travailler à l'échelle 1/1, ..."*

Après la validation de la maquette en carton, une maquette en tôle est produite, dans laquelle les premiers tests au feu ont pu être effectués. Cette collaboration avec le labo feu, intense tout au long de la conception, permet de définir la position des entrées d'air par "essais-erreurs". Une autre des caractéristiques de l'innovation du produit est l'utilisation de la fonte comme couverture intérieure du foyer, là où tous les produits actuellement sur le marché utilisent la vermiculite. Cette utilisation de la fonte est une décision arrivée plus tardivement dans le projet, et ce matériau a été choisi pour ses propriétés formelles et mécaniques. Ce choix technologique n'est pas sans conséquence, puisqu'il ne s'agit plus ici :

- (i) de plier de la tôle mais bien de couler de la fonte dans un moule : le logiciel Pro-E n'est plus tellement efficace dans la modélisation de pièces aussi complexes que des profils de fonte. J l'utilise pourtant et le pousse "dans ses dernières limites", l'exploitant non plus comme un modèleur géométrique mais comme un modèleur surfacique (catachrèse).
- (ii) d'isoler la chambre de combustion de l'extérieur au lieu de l'intérieur, pour garder une bonne température, ce qui est tout à fait différent des autres appareils. Ce qui mène à plusieurs modifications techniques, comme le positionnement de l'échangeur de chaleur : l'échange de chaleur ne peut plus se faire par les côtés, mais par le haut cette fois.

Nous soulignons déjà ici le caractère particulier de la collaboration qui lie J et JE, qui s'explique par le partage des compétences qu'ils possèdent tout deux tant en terme de modélisation et exploitation de l'outil Pro-E qu'en terme de connaissances techniques liées à la conception de corps de chauffe. Nous verrons plus tard que cette collaboration, cette "co-habitation" est directement liée également à l'utilisation partagée qu'ils font de leur outil médiateur favori, Pro-E.

[illegible]

8.5.2. Traitement des observations instantanées

Les observations instantanées ont été traitées différemment des entretiens. Elles retracent en effet des “moments” de la conception beaucoup plus courts et brassent moins d’informations longitudinales relatives au projet dans son ensemble. Il a donc été décidé de les traiter de façon plus quantitative, puisqu’elles nous offraient, seconde par seconde, une vision détaillée de l’utilisation réelle des outils médiateurs en relation avec les contraintes traitées et les modalités de la collaboration. Les codages, toujours à partir des observables décrits plus hauts, ont été faits directement sans qu’il n’y ait de retranscription complète de celles-ci. Les visionnages successifs ont suffi pour remplir la grille de façon de plus en plus fine. Dans le tableau ci-dessous sont présentées les 13 observations, 12 de sessions collectives et une de session individuelle de conception.

Observation n°	Participants	Objet de la réunion	Support de la collaboration	Délais	Mode de Capture
1	G et CH	Définition du mécanisme de régulation du registre d’air, simplification.	papier (coupes imprimées) et proto	3 jours	audio et vidéo
2	CH et L (technicien mécano-soudeur), rejoints par G	Mécanisme de régulation du registre d’air et épaisseur de la paroi du tambour	sur papier (coupes imprimées) et proto	3 jours	audio et vidéo
3	CH et M	Agrandissement de la porte du 30 compact	ordi et proto	2 jours	audio et vidéo
4	MA et JM	Explication d’un détail du 16 QA2	ordi	immédiat	audio
5	JM et CH	Explication d’une méthode de modélisation	ordi	immédiat	audio
6	CH et G	Discussion registre d’air (dimension d’un trou)	ordi et croquis sur feuille blanche, doc. technique	1 jour	audio et vidéo
7	G et CH	Porte du 30 compact	croquis	2 jours	audio et vidéo
8	CH et L (technicien mécano-soudeur)	Cintrage du cylindre du tambour depuis changement épaisseur	verbal	immédiat	audio
9	CH à tous	général	verbal	immédiat	prises de note
10	G et M	Fenêtre 30 compact	ordi et papier	1 jour	audio et vidéo
11	M et CH	PED du 30 compact et méthode de travail	verbal, check list et ordi	immédiat	audio et vidéo
12	MA, TH et autres	revue de conception du 16QA2	verbal, proto	immédiat	prise de note et audio
13	CH (conception individuelle)	Modélisation du registre d’air et du tambour (30 compact)	ordi	immédiat	capture d’écran dynamique

Tableau 10 - Présentation des observations.

Le résultat des analyses est résumé dans un tableau (voir Annexe 14). Chaque “moment” de conception observé, avec ses modalités collaboratives et/ou procédurales propres, nous fournit quelques informations intéressantes, approfondies dans les sections suivantes.

8.6. Résultats intermédiaires

Les premiers résultats sont issus tout d’abord de la comparaison des cinq lignes du temps, imagées par les vignettes ci dessous, et construites sur base des informations recueillies.

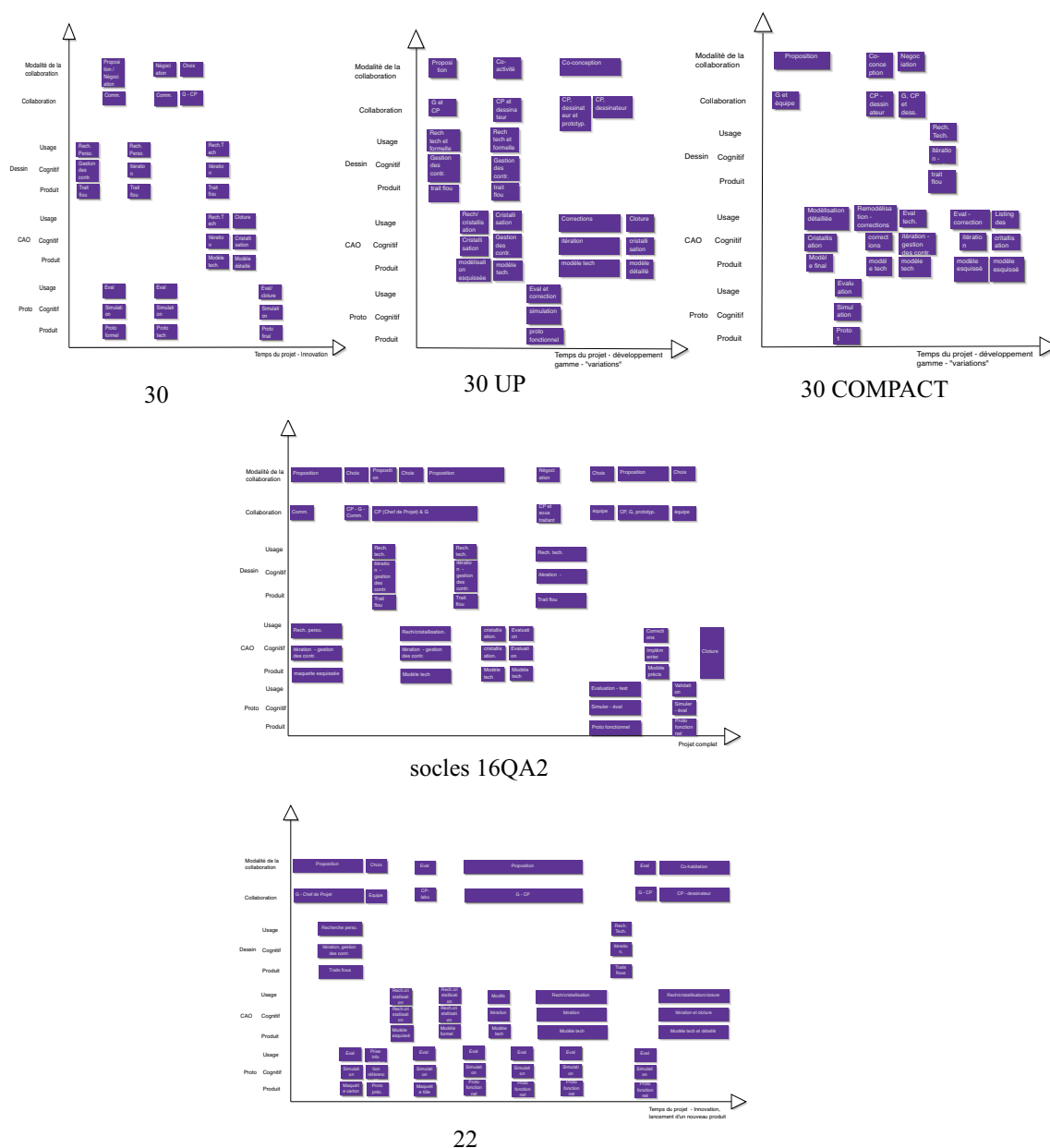


Fig 34 - Comparaison des lignes du temps.

Une première base de comparaison peut être construite entre les produits “30”; “30 UP” et “30 COMPACT”, issus de la même gamme. Le process du “30”, modèle de base, présente une ligne du temps que l’on pourrait qualifier de plus “structurée”. Rappelons qu’elle se fait à une époque où l’équipe de conception est bien plus réduite. Deux boucles “dessin - production d’un prototype” apparaissent, et on suppose (même si l’information manque à ce niveau) qu’un passage obligé par la CAO - Autocad 2D® à l’époque - s’est fait pour la mise en plan de prototypage. On observe que les phases de dessin rythment l’ensemble du processus,

que la CAO apparaît plus tard et que les protos sont des outils d'évaluation fréquemment utilisés (sans doute parce que la CAO à l'époque ne propose pas de visualisation 3D efficace). La collaboration est marquée par les cycles de co-conception entre G et le Chef de Produit, CH dans le cas présent. Le "30 UP" est marqué par une arrivée beaucoup plus anticipée de la CAO, mais outillée par une co-activité qui a mené à "la catastrophe" du premier prototype. Les corrections sont longues et coûteuses, même pour un projet qui n'est rien d'autre qu'une "variation" d'un principe déjà connu. Le "30 COMPACT" lui est entaché par la nécessité d'une re-modélisation complète du produit suite aux nombreuses "erreurs" (ou plus exactement, suite "à la méthode de modélisation non adaptée") commises par le sous-traitant. Un rythme de co-conception apparaît maintenant entre designer et dessinateur.

Le "22" lui est caractérisé par une recherche de concepts (sur dessin) très courte et isolée tout au début du processus. Des allers/retours apparaissent ensuite entre modèle 3D et prototype, testé au feu (ce test étant une nécessité pour les produits innovants). Ce passage "rapide" sur la pré-conception explique peut-être pourquoi un retour en arrière coûteux a eu lieu (abandon puis validation du principe des fontes). Le processus initie également une nouvelle modalité de collaboration, la "co-habitation", qui nécessite de forts pré-requis en terme de partage de compétences et du référentiel commun.

Le process des socles du "16 QA2", enfin, est représenté par une ligne du temps très structurée et complète puisque tout le processus a été développé au cours des entretiens. Ce projet, relativement simple techniquement, se caractérise par de constants allers/retours entre le dessin (conceptuel, technique) et le modèle 3D (esquissé, technique, détaillé) qui co-construisent efficacement le produit. Notons la seule occurrence du proto en fin de processus (ce qui peut s'expliquer par le caractère simple du produit) et l'inattendue apparition de la CAO (Autocad 2D®) au tout début de la conception, fait à caractère exceptionnel d'après son auteur, G.

L'analyse des observations nous a également permis de suivre, au fil de 13 séances de travail, l'évolution des décisions prises, des propositions avancées, et l'utilisation qui est faite des outils médiateurs. Une analyse quantitative préliminaire nous renseigne sur la répartition des utilisations des outils médiateurs, en pourcentage d'occurrences²³. Les comptages sont réalisés pour l'ensemble des données récoltées :

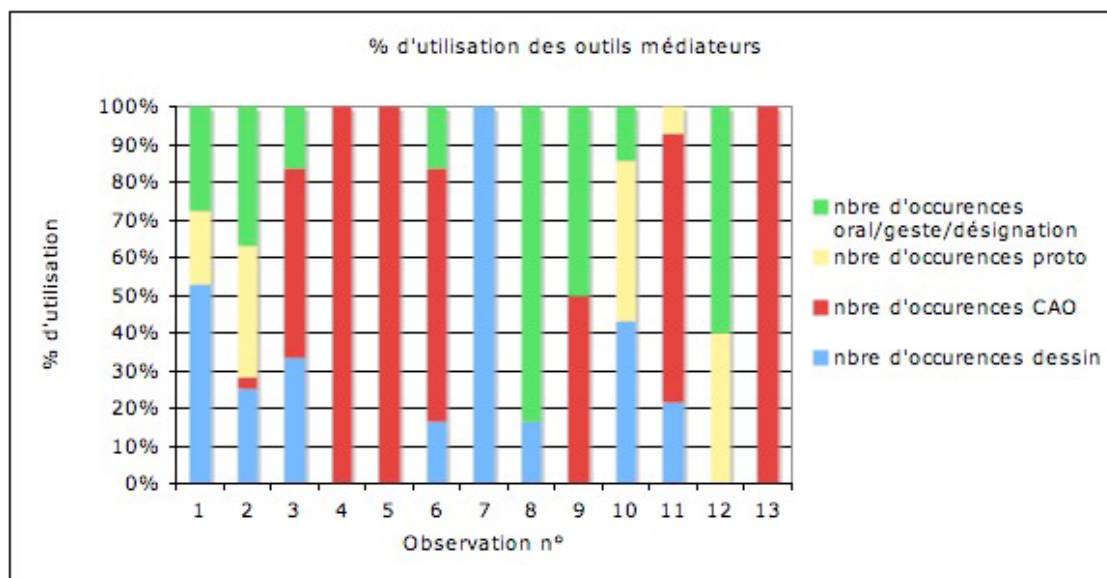


Fig 35 - Pourcentage d'utilisation des outils médiateurs.

Plusieurs facteurs d'impacts peuvent être listés, avec toutes les précautions qui s'imposent lorsque l'on traite des données réparties sur un échantillon si peu important :

23 Des comptages en temps passé n'auraient eu aucun sens ici, étant donné la grande variété des séances de conception : nous n'avons pas voulu impacter les données recueillies par un critère temporel pour lequel aucune base de comparaison n'existe.

- impact de la modalité de collaboration : on remarque que la co-conception (entre designers endossant leur propre rôle ou entre designer senior et designer “chef de projet” endossant le rôle de dessinateur) est largement outillée par le dessin (OBS 1; 7; 10). La conception distribuée, les répartitions de tâches et conseils que s’échangent designers et dessinateurs sont généralement outillés par l’écran de l’ordinateur (modèle Pro-E). Les phases d’échanges de point de vue et de négociations entre designers et autres métiers de la production (OBS 2; 12) sont soutenus plutôt par le prototype. On remarque de plus que les sessions concernant M, en “écolage” auprès de CH (OBS 3 et 11), se traduisent par un recours plus fréquent à l’explicitation par désignation à l’écran et sur le proto. Les sessions où G apparaît, enfin, présentent un pourcentage d’utilisation du dessin important (OBS 1; 6; 7; 10).
- importance des modalités orales, de geste et de désignation pour compléter l’information transmise (voir exemple Annexes 16.0; 16.1; 16.2 et 16.3).
- importance du prototype dans des séances de conception plus larges faisant appel à un nombre important de personnes.

Le graphique suivant présente le pourcentage de répartition des différentes fonctions de la représentation que nous avons codées. Dans le cadre d’une conception collaborative, toute représentation sert bien entendu à partager et faire comprendre ses idées. Nous pouvons cependant classer les représentations grâce à leur fonction **principale** : concevoir, produire (représentation détaillée pour une mise en production), modifier, communiquer une idée ou interroger l’idée d’un collaborateur.

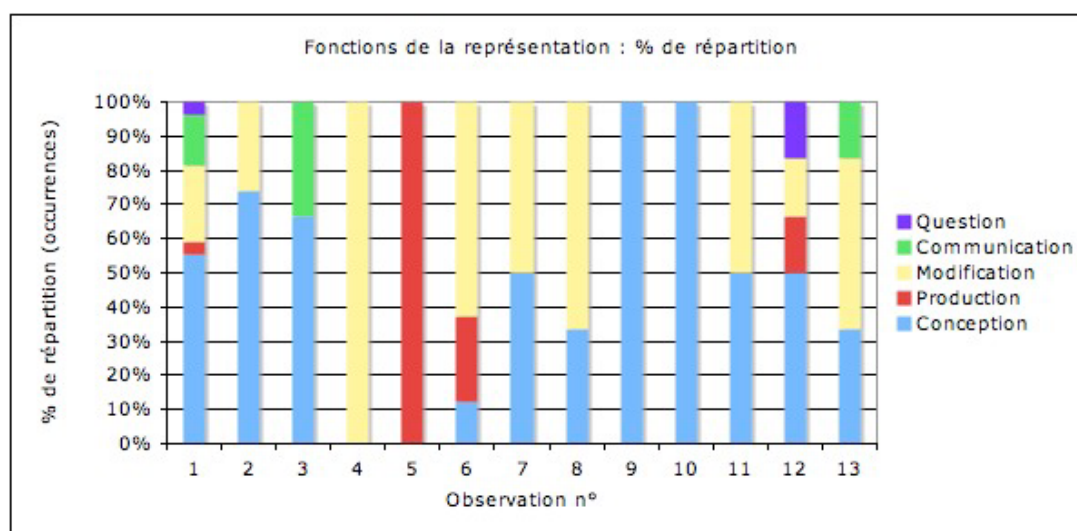


Fig 36 - Fonctions de la représentation : pourcentage de répartition.

Les représentations, quelles qu’elles soient²⁴, outillent plus spécifiquement la conception (génération de nouveaux principes) et la modification (itération dans la recherche de solutions). Leur exploitation comme outils directs de mise en production est plus rare (sauf pour des conseils relatifs à la modélisation, OBS 5) et apparaît plus tard dans le processus de conception. Enfin, l’occurrence communicative dans la conception individuelle (OBS 13) apparaît, selon nous, lorsque le concepteur modifie la couleur de la pièce qu’il est en train de travailler pour une meilleure visualisation. Il facilite en quelque sorte la communication qu’il entretient avec son propre travail. Le graphe nous aide à réaliser que, d’une part, un seul type de représentation peut servir plusieurs fonctions et que, d’autre part, l’adjonction de plusieurs représentations permet de diversifier le regard porté sur le processus de conception.

Les modèles sous-jacents de la représentation sont codés selon les caractéristiques proposées par Leplat (2000), adaptées à la situation particulière. On voit apparaître l’aspect procédural (la représentation guide

²⁴ On inclut ici dans le terme “représentations”, exceptionnellement, à la fois les outils; les artefacts produits et les moyens de communication mis en oeuvre.

une procédure - généralement une méthode de mise en production); opératif (la représentation est centrée sur la réalisation d'une action - l'action de concevoir principalement, mais aussi par extension la réalisation d'opérations à mener sur le produit); déclaratif (la représentation permet de déclarer un critère, une caractéristique, une opinion, une intention, ...) ou figuratif (représentation formelle).

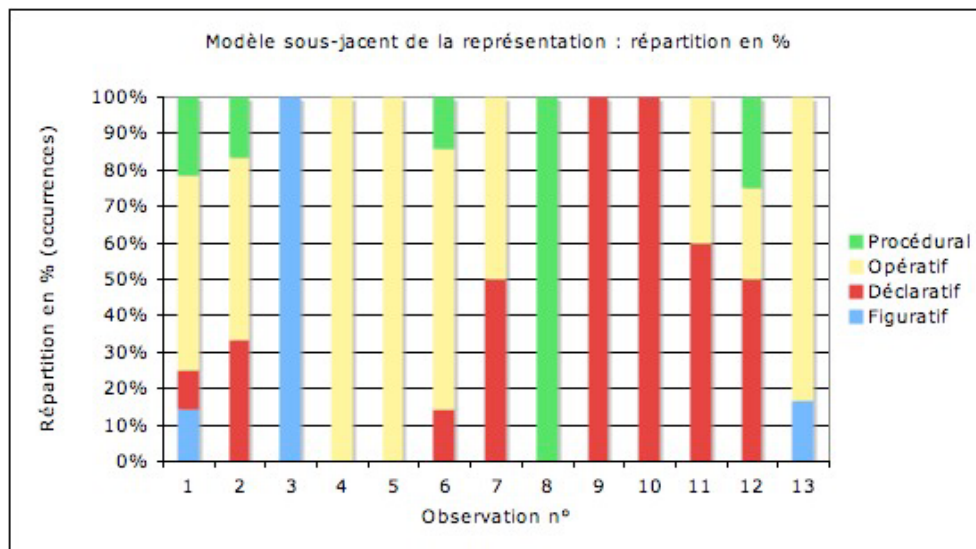


Fig 37 - Modèle sous-jacent de la représentation : pourcentage de répartition.

Les modèles opératifs et déclaratifs, propres selon nous à l'acte de conception et sous-jacents au dessin en général, sont largement représentés. L'OBS 8 se fait exclusivement oralement (par téléphone), et la "représentation" interne qui se construit et se partage au fil de la conversation concerne la mise en oeuvre d'un cintrage, ce qui explique son caractère procédural. Les OBS 4 et 5 quant à elles, bien qu'elles incluent un caractère déclaratif (puisque l'écran est le soutien d'une explication orale) sont classées opératives puisqu'elles mènent à la réalisation directe d'une action. Ici encore on prouve la polyvalence des représentations, qui peuvent se développer sur divers modèles selon les contextes et les problématiques rencontrées.

Enfin, nous soulignerons l'efficacité du PED (Plan d'Eradication des Défauts) comme outil de transfert des informations entre prototypiste/designer et designer/dessinateur. Le graphe suivant montre en effet qu'en quelques minutes un problème (de production et de montage, en général) peut être transféré entre plusieurs acteurs et résolu conjointement.

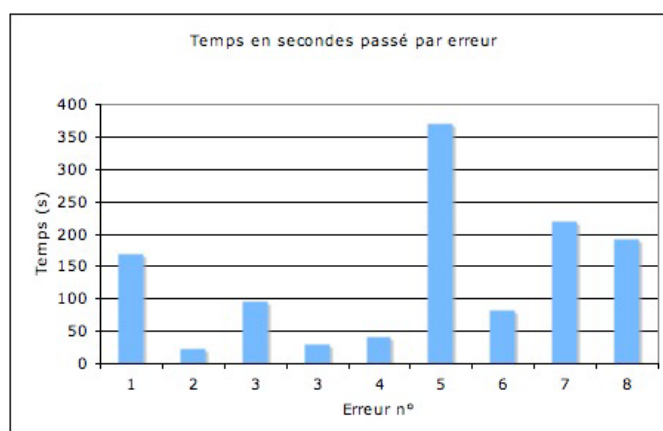


Fig 38 - Temps passé à la résolution d'erreurs sur base du PED.

De ces résultats intermédiaires nous retiendrons les éléments suivants, dont nous pousserons la discussion dans le chapitre suivant :

<ul style="list-style-type: none"> - l'efficacité de la co-conception entre designer/dessinateur, ou de la "co-habitation" si certains pré-requis sont rencontrés; - l'inefficacité de la co-activité, dans les métiers observés en tout cas (co-activité entre personnel de la même entreprise, ou entre designers et sous-traitants); - la nécessité, lorsque le recours au modèle 3D est souhaité/nécessité, d'un constant aller/retour vers le dessin dans des phases conceptuelles comme techniques. - le fait que le recours à un outil médiateur précis soit influencé par: la modalité de collaboration; les degrés d'expertise; les préférences personnelles et les métiers en négociation (chaque compétence faisant appel à la représentation qui lui convient le mieux). Notons également la constante nécessité, cependant, d'associer plusieurs de ces représentations dans un esprit de "multi-modalité"; - qu'une "hiérarchie" semble exister au sein de la co-conception, en fonction du rôle qu'endosse le designer "chef de projet" face à G, designer senior; - la polyvalence en terme de fonctions et modèles sous-jacents des représentations; - l'adaptation des outils aux besoins directs de la réalisation de la tâche et l'atteinte de ses buts (exemple de la catachrèse); - l'importance de conserver des traces pour une meilleure construction du "design rationale"; - l'importance également des synchronisations cognitives et de l'écoute flottante pour la construction du référentiel commun, comme souligné déjà dans l'état de l'art.
--

L'étude des différents produits en cours de conception nous apporte également des informations à caractère plus spécifique, qui complètent les indices relevés plus haut :

Etude du produit ...	Indices relevés
30	<ul style="list-style-type: none"> - l'influence du degré d'expertise sur la collaboration, présentée ci-dessus, peut se décliner encore en fonction des niveaux d'expérience en CAO et d'expérience en conception de corps de chauffe;
30 UP	<ul style="list-style-type: none"> - les difficultés qui surviennent lors d'un manque de communication entre designers et dessinateurs; - les retours vers le dessin, provoqués par des erreurs et des évaluations effectuées au travers de représentations fournies par l'outil CAO, ces retours se faisant tant au niveau formel que technique; - les facilités différentes offertes par les outils; - les variantes de contenus dans le dessin en fonction du collaborateur;
Socles 16QA2	<ul style="list-style-type: none"> - l'apparition d'infaisabilités révélées par la CAO, même dans le cadre de projets techniquement très simples;
30 COMPACT	<ul style="list-style-type: none"> - les différents rôles que le dessinateur peut endosser tout au long de la conception, en fonction des demandes qui lui sont faites, même pour les dessinateurs "débutants" dans le milieu des corps de chauffe; - l'importance du geste pour expliciter des incohérences techniques;

22	<ul style="list-style-type: none"> - l'impact important que quelques modifications tardives peuvent avoir sur l'ensemble du projet (ici, l'apparition de fontes mène jusqu'à l'engagement de JE); - le phénomène de partage de compétences et de référentiel commun entre J et JE; - le processus de "co-habitation" qui semble se construire dans ce binôme.
----	--

9. Résultats et Discussion

Ce traitement des résultats en lignes du temps nous permet de répondre non seulement aux hypothèses mais d'aller bien au delà en termes d'utilisation des outils médiateurs et des représentations externes. Les résultats seront présentés en 2 parties principales : on testera séparément les deux hypothèses et on apportera d'autres éléments de réponse.

9.1. Hypothèse 1 : la Non Dichotomie

9.1.1. Test de l'hypothèse

Nous pouvons annoncer sans plus attendre que l'hypothèse 1 de la non dichotomie se vérifie. On le présente déjà à la lecture des lignes du temps révélées plus haut pour les 5 exemples d'analyse rétrospective :

- (i) la dichotomie observée entre "designers qui dessinent" et "designers qui modélisent" n'a pas lieu d'être : tous les concepteurs observés font tantôt appel à l'un ou l'autre outil, en fonction des objectifs de leur sous-tâche, en fonction des propriétés que leur offrent les outils et également en fonction de la modalité de collaboration en jeu. Ces allers-retours constants apparaissent tout au long du processus de conception, varient d'un individu à l'autre et co-construisent efficacement l'atteinte des objectifs. Un lien peut certainement être tiré ici entre l'utilisation des outils et l'adaptabilité de leurs schèmes aux différentes étapes du processus de conception.
- (ii) la dichotomie entre "designers" et "dessinateurs" est également discutée : le partage d'un référentiel commun existe bel et bien, et varie en fonction des niveaux d'expertise en terme d'utilisation de l'outil informatique et en terme de connaissances "métier".

Enfin, il semblerait même que la non-dichotomie soit également valable au niveau des représentations utilisées et de leurs modalités : le concepteur peut tantôt faire appel à un dessin en 2D, une volumétrie 3D, un croquis en perspective ou un fond de plan 2D imprimé. Ces constants allers/retours entre les principaux outils médiateurs relevés, dessin et modélisation 3D, mais aussi avec l'outil médiateur qu'est le prototype (toujours présent dans les bureaux des concepteurs) est donc un fait avéré. Mais si on désire aller plus loin dans la compréhension des mécanismes qui génèrent le recours à tel ou tel outil, et dans telle ou telle modalité (2D, 3D ou perspective), la construction d'un schéma de l'activité des acteurs s'avère nécessaire. Ce sera l'objet du paragraphe suivant.

9.1.2. Graphes d'activité

Nous nous basons encore une fois ici sur les lignes du temps, les entretiens et observations et en fusionnons les informations afin de fournir un schéma global de l'activité de conception du designer et de modélisation/co-conception du dessinateur.

Graphe d'activité du designer

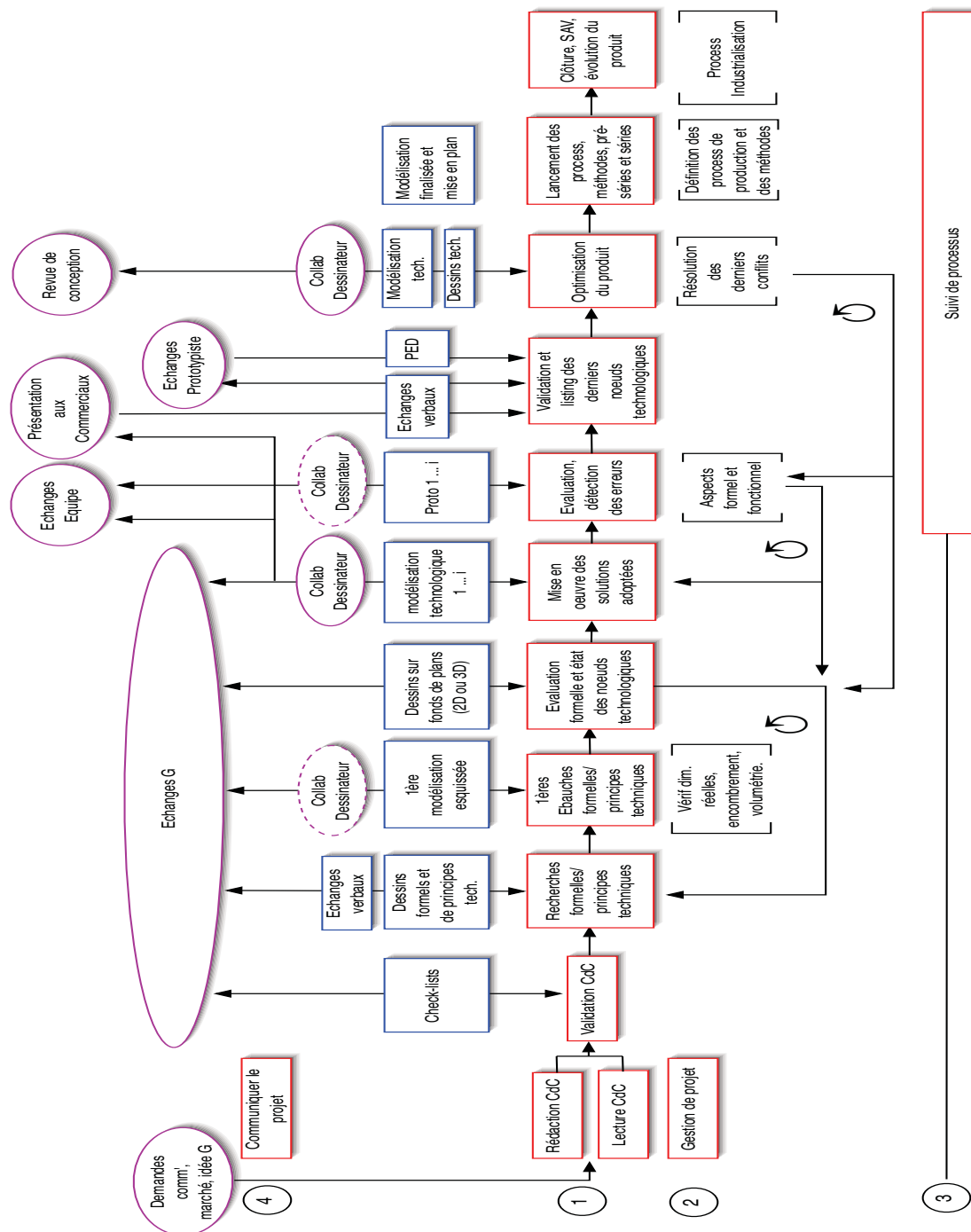


Fig 39- Graphe d'activité du designer "concepteur", avec ses trois couches : activités, outils médiateurs et collaborations.

Nous exploiterons à plusieurs reprises ce graphe, qui présente trois couches distinctes :

- i. en rouge : le modèle itératif (cfr. boucles) d'activité du designer, avec les différentes tâches principales que l'on a pu relever. Ce modèle est bien sûr une simplification du processus des designers de cette entreprise particulière et est difficilement généralisable;

- ii. en bleu : les différents outils médiateurs exploités tout au long du processus, entre le designer et ses collaborateurs ou pour son usage personnel;
- iii. en mauve : les différents collaborateurs qui échangent avec le designer, au travers des outils médiateurs, de façon quasi-systématique (trait plein) ou plutôt occasionnelle (trait hachuré).

Si nous nous intéressons maintenant plus particulièrement au graphe d'activité du designer, soit la partie rouge du graphe :

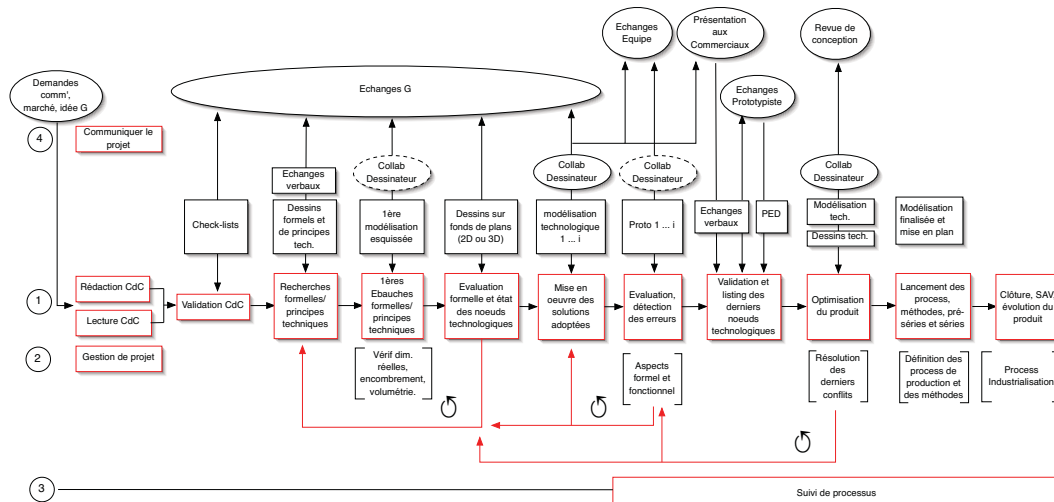


Fig 40 - Graphe d'activité du designer "concepteur".

Nous observons qu'il est relativement "classique" dans sa construction, avec une première phase de récolte et d'examen des données et contraintes, une phase d'ébauche de solution, avec toujours en parallèle la poursuite de la construction de la compréhension du problème, et enfin une phase de mise en détail, évaluation et optimisation. Rappelons au lecteur que depuis la restructuration de 2006, le designer doit également gérer le suivi de processus par exemple. Notons encore qu'avant l'arrivée de Pro-E, comme CH a pu le vivre, le dessin était bien sûr l'outil unique de conception. Les tests de faisabilité se faisaient principalement sur papier, et nous avons pu observer que les dessins de cette époque étaient en effet beaucoup mieux construits, plus complets et effectués aux instruments :

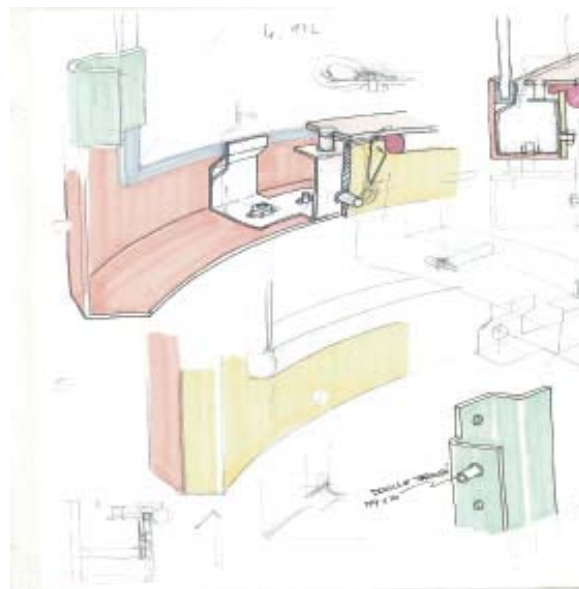


Fig 41 - Un dessin "pré-CAO" de CH.

Le designer peut prendre en main lui-même les tâches de modélisation 3D, en fonction de la disponibilité des dessinateurs. Il peut également, comme J ou MA parfois, souhaiter effectuer la modélisation (grossière et/ou détaillée) lui-même, de manière à pouvoir évaluer d'autres aspects du projet : exactitude de la volumétrie, encombrement, complexité de certains assemblages, validation de principes techniques, ...

Il y a toujours plusieurs protocoles, qui présentent des fonctions différentes. Le premier sert à évaluer le côté formel du projet : il est peint et sert également d'outil de communication avec les commerciaux. Les suivants sont plutôt utiles à la définition de critères d'utilisation "ergonomique", au test de certains mécanismes etc.... tandis que le dernier constitue pour le designer la dernière possibilité de s'assurer que plus aucune erreur ne subsiste.

Le graphe fait en outre apparaître de nombreuses boucles. On l'a vu dans l'état de l'art, les itérations en conception sont un concept communément admis par les auteurs de référence. Si nous entrons plus dans le détail de l'étude de ces boucles, nous observons que lorsqu'il s'agit des outils de la médiation et des représentations qui y sont associées, ces itérations présentent des modalités différentes. Ainsi, en première boucle, le croquis reste flou, dynamique et ouvert. La modélisation est quant à elle simple (les dessinateurs disent « grossière »), dénuée d'apparat et claire à la lecture. Elle est également facilement modifiable et paramétrable lorsque cette option existe. Cette première étape se conclut par une première définition des concepts. L'évolution se fait alors linéairement dans sa globalité, le concepteur proposant une modélisation plus complexe de son projet. Une seconde boucle, dépendante du degré d'opportunisme de la conception, des interactions avec les collègues et la considération de nœuds techniques, peut alors apparaître. L'itération se matérialise par un retour vers le dessin, mais dans un mode différent. Celle-ci présente en effet un contenu autre et vise d'autres objectifs : plus technique, plus tournée vers la résolution d'un nœud spécifique, sans balayer de façon globale l'aspect formel comme pouvaient le faire les premières tentatives. Une fois le nœud technique résolu, une modélisation en sera faite, cette itération « *bottom-up* » aboutissant à un modèle 3D toujours plus détaillé.

L'itération, avec ses allers-retours entre outils et représentations différentes, apparaît donc bien, mais chaque boucle présente un contenu différent, fonction de l'état d'avancement du projet. La dichotomie est donc nulle non seulement entre outils mais également entre modalités de représentation (dessin 2D/perspective, modélisation 2D/3D), comme nous le supposions plus haut.

En termes de "difficultés" vécues par le designer lors de la réalisation de sa tâche, nous pouvons citer

- ses multiples responsabilités, qui le détournent probablement de ses compétences primaires en conception. L'espace temps réservé à cette conception (préliminaire en tout cas) devient très limité, le passage à la modélisation 3D détaillée est très rapide, ce qui pourrait expliquer que trop d'erreurs surviennent encore plus tard dans le processus;
- la forte présence hiérarchique de G, à qui il doit sans cesse "rendre des comptes".

Graphe d'activité du dessinateur.

L'activité du dessinateur peut être modélisée comme suit :

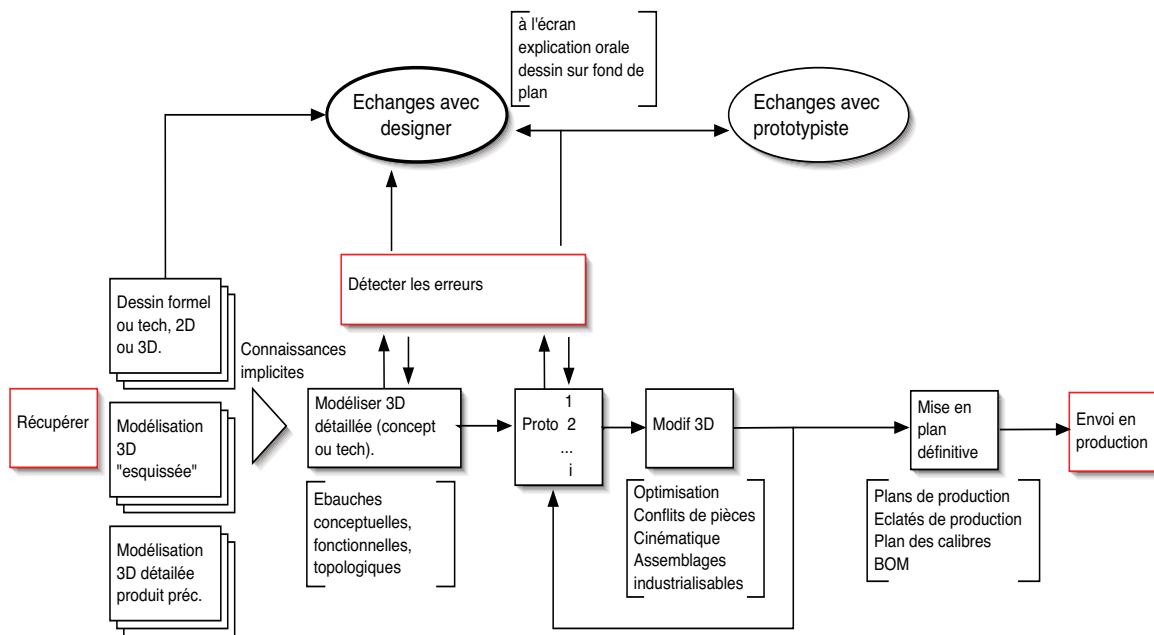


Fig 42 - Graphe d'activité du dessinateur.

De ce modèle nous retiendrons les éléments suivants :

- le dessinateur reçoit une “esquisse” (c’est à dire : un dessin papier/crayon grossier, ou une modélisation 3D grossière, bref deux représentations qu’on peut considérer comme esquissées).
- son activité est évidemment fortement impactée par l’outil informatique imposé, soit Pro-E. Cet outil exige en effet une modélisation pièce par pièce, grâce à l’adjonction de primitives de base. Chaque assemblage se construit ainsi peu à peu, est rattaché à un “squelette” de base qui le positionne correctement par rapport à l’ensemble du modèle. Ce squelette peut être défini comme un repère géométrique de référence, sur lequel on vient s’accrocher. Il existe un squelette global pour l’ensemble de la pièce, et des squelettes propres aux pièces qui la composent. Les squelettes définissent donc les positions des pièces les unes par rapport aux autres, leur dimension, leurs accroches, ... Un autre impact évidemment est la nécessité de définir toutes les pièces avec une géométrie précise : le dessinateur acquiert ainsi peu à peu des connaissances sur les différentes pièces, qui peuvent se répéter d’un produit à l’autre (apprentissage par la répétition).
- ses relations avec le prototypiste, au travers des PED, conduisent également à un certain apprentissage : il connaît les noms des pièces pour en avoir parlé avec ses collègues, sait à quels éléments il doit veiller pour éviter des erreurs dans le prototype, acquiert par là une certaine compétence en terme de techniques de production, ...

Il met toutes ces connaissances au service de son équipe et de la modélisation qu'il effectue. Il prend bel et bien "part" à la conception, et la collaboration qu'il entretient devient, au fil de sa construction de connaissances, une "co-conception" à part entière.

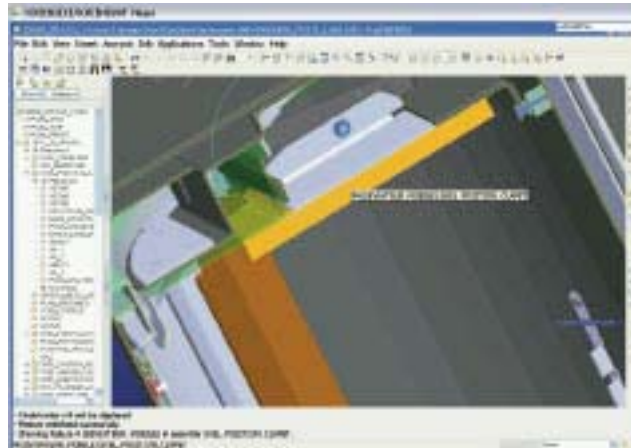


Fig 43 - Une coupe dans Pro-E avec le squelette d'une pièce (trace turquoise).

Parallèlement à cela, il développe des stratégies qui lui sont plus personnelles, au travers de l'utilisation de cet outil :

- utilisation des couleurs : cet indice visuel lui permet de voir la différence entre les pièces juxtaposées (facilitation de lecture du modèle) mais aussi de communiquer plus facilement ses doutes et les erreurs qu'il peut soulever au fil de la modélisation;
- les corrections et modifications, lorsqu'elles sont importantes, peuvent se faire au choix directement sur l'écran ou plutôt via le papier. Il arrive en effet au dessinateur de dessiner à main levée également, lorsqu'il veut rendre plus claires nœuds techniques;
- certaines pièces sont modélisées de façon plus "grossière" : elles sont soit considérées par le dessinateur comme trop peu abouties (il ne sert à rien qu'il perde son temps à une modélisation plus fine puisqu'il "sent" que le designer va encore la modifier), soit elles ne seront pas produites par l'entreprises directement (pièces achetées chez des sous-traitants).

Son objectif final est de modéliser très précisément toutes les pièces, qu'elles puissent bouger selon une cinématique²⁵ normale, sans qu'il y ait de conflits entre les pièces.

Essence du dessin.

Si l'on s'intéresse ensuite au contenu du dessin que le dessinateur considère comme important, ce qu'il garde en "mémoire" pour modéliser :

- i. les courbes et toutes les formes qui ne sont pas vraiment planes. A ce propos, JE dit : *"ce qui va donner la forme à la pièce, ce sont ses courbes fonctionnelles, qui sont d'ailleurs les plus difficiles à modéliser : soit des plis, soit des courbes, ... ce que je vais regarder en premier, ce sont les formes qui sont différentes du cercle, et encore le cercle je regarde aussi, parce qu'ils ont des axes. Les axes sont toujours importants. Tout ce qui est complexe finalement"*.
- ii. le principe cinématique de l'esquisse : les dessinateurs ont souvent recours à des schémas simplificateurs topologiques et cinématiques qui les aident à mieux comprendre le fonctionnement de la pièce représentée. Ils notent ainsi les points d'articulation, les formes, ce qui va bouger ... et tentent de retranscrire le tout en schéma de fonctionnement.
- iii. les interfaces de la pièce avec ses voisines : toutes les pièces liées géométriquement à l'élément qu'il est en train de modéliser prennent énormément d'importance. Le dessinateur doit évaluer dans quelle mesure il peut les modifier, les bouger, ... La présence et les caractéristiques d'un "environnement pré-existant" sont cruciales pour la définition de ses marges de manoeuvre. JE dit à ce propos : *"Quand il s'agit d'une pièce seule, sans interaction avec d'autres, c'est très facile à intégrer. C'est qu'un volume d'encombrement ...et*

²⁵ la cinématique virtuelle d'une pièce consiste à la faire bouger à l'écran, selon les mouvements que la pièce réelle adoptera.

une fonction ... quand c'est fonction récupération des suies en bas à gauche, ben tu mets un plan incliné. Il suffit de savoir où tu peux aller et pas aller. Ce n'est qu'un trait dans une esquisse qu'il faut modifier. Ce qui va être beaucoup plus complexe, ce sont les branchements (...) il faut respecter les angles, les distances, rester dans le volume général."

iv. enfin, il considère les "surfaces fonctionnelles" : par exemple, les pièces qui viennent boucher une ouverture, et dont la surface doit être définie avec précision pour éviter tout problème de fuites.

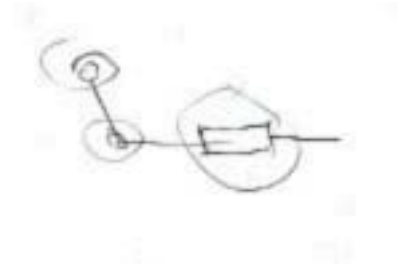


Fig 44 - Un schéma cinématique avec ses rotules.

Caractéristiques du bon croquis.

Par extension, nous avons voulu savoir ce qui, pour un dessinateur, définissait un "bon dessin". D'une manière globale, les dessinateurs semblent se contenter de toutes sortes de croquis : dessin filaires, plus "touffus", en 2D ou perspective, colorés ou non ... La seule demande qu'ils font tous est que le dessin soit accompagné d'une courte explication orale de la part du designer. Voici les autres déclarations à propos du "bon croquis" :

- les noeuds technologiques et "points durs" (point par lequel une courbe doit absolument passer) doivent être clairement soulignés. Les designers surlignent en général à plusieurs reprises ces noeuds, on parle alors de phénomène de "cristallisation";
- un dessin assez grand, avec des traits "assez gros" pour accrocher l'oeil;
- un dessin avec toutes les annotations, flèches en cas de mouvement, commentaires, ... qui puisse apporter un complément d'information;
- certains trouvent le dessin en perspective beaucoup plus parlant, "à condition que la personne sache dessiner". Les dessins à main levée peuvent s'avérer en effet extrêmement trompeurs : les angles et les proportions peuvent être faux et/ou mal perçus;
- une vue en plan peut être plus utile lorsque l'on veut signaler des cotes ou un positionnement d'une pièce par rapport à une autre. Le dessin en perspective est plus apprécié pour comprendre des mécanismes globaux, se faire comprendre des autres;

- les dessins globaux, mettant en évidence les “environnements” dont nous parlions plus tôt, sont toujours considérés comme plus clairs :

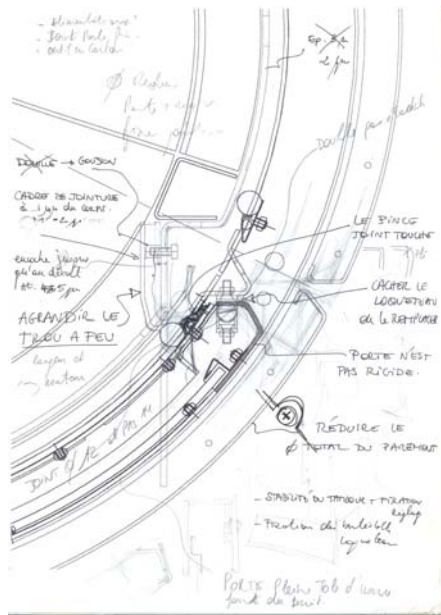


Fig 45 - Un dessin avec ses annotations et son environnement.

En terme de difficultés vécues, la principale est certainement d’avoir à modéliser de façon détaillée des éléments qui subiront encore de nombreuses modifications. Cela constitue pour le dessinateur une perte de temps importante.

Conclusions de cette section.

Les allers-retours entre dessin à main levée et modèle CAO au fil des itérations sont bien confirmés dans cette section. On note de plus que les contenus des représentations varient d’une boucle à l’autre.

On retiendra également l’impact qu’à l’outil imposé (Pro-E) sur l’activité du dessinateur. Les éléments essentiels d’un dessin ont été listés, comme l’importance de l’environnement pré-existant pour la modélisation d’une pièce. Les caractéristiques d’un “bon croquis” ont également été citées, et la modalité de représentation semble porter des objectifs différents.

Enfin, nous insistons sur le principe de “co-conception” qui s’établit peu à peu entre les métiers de dessinateur et designer. La concordance de certaines tâches, le partages de tâches et le support que peuvent s’apporter designer et dessinateur est une réalité. Comme Lebahar l’a déjà souligné, la mission d’un “graphic designer” va bien au delà d’une simple vérification des modèles des designers : il s’agit en réalité d’une confrontation de modèles, Lebahar écrivant même qu’il (le graphic designer) “estime qu’il doit aider à imposer, dans la mesure du possible, ses modèles” (2007). Marjchzach et al (1997) et Löwstedt (1993, cités par Béguin, 1996) disaient à l’époque des débuts de l’infographie qu’elle était “une technologie disponible dont l’implantation transforme le plus profondément et durablement les organisations et le fonctionnement des entreprises”. Nous n’utilisons plus aujourd’hui le terme d’infographiste comme une “technologie à portée de main” mais plutôt celui de dessinateur-concepteur, acteur à part entière de la conception.

9.1.3. Usages des outils médiateurs

La discussion précédente nous a prouvé que les allers-retours constants entre les outils médiateurs, au service de la conception, engendraient des représentations différentes dans leur contenu et dans leur fonction. On peut dès lors s'interroger sur les schèmes d'utilisation instrumentale qui sont liés à l'utilisation des outils. Se voient-ils également modifiés au gré des contextes et contraintes de la conception ? Un premier élément de réponse peut être apporté lorsqu'il s'agit de produire une représentation, (nous dirons un artefact pour élargir le terme et englober ainsi les prototypes), utiles à une réunion planifiée. Nous avons en effet pu observer que les schèmes d'utilisation sont influencés par l'objectif de la réunion, l'interlocuteur présent et le niveau d'ajustement cognitif qui est requis pour que tous partagent un référentiel commun. Les schèmes d'utilisation de l'instrument évoluent, c'est à dire la manière dont on va dessiner ou modéliser, mais aussi les schèmes d'utilisation de l'artefact, c'est à dire la manière dont on va présenter aux autres le contenu de l'artefact.

Si on s'intéresse plus aux processus individuels de la conception, qu'en est-il de ces schèmes instrumentaux, tant des outils que des représentations ? Il a été demandé aux opérateurs d'expliquer ce qui, lors du transfert d'un dessin vers la CAO, était modélisé ou ne l'était pas, en terme de contenu. Il était apparemment difficile pour eux de répondre à cette question, le phénomène de complexification/simplification semblant être automatisé/interiorisé. Il a alors été décidé de produire un « graphe d'activité » d'utilisation des outils et des représentations/artefacts créés, afin d'approfondir cette question. Repartant du graphe d'activité du designer²⁶ (voir ci dessous), nous avons repris uniquement la couche "outils médiateurs" et avons construit un second graphe, nommé "des objets médiateurs" pour éviter la confusion qui pourrait apparaître entre outils et représentations. Le même type de graphe aurait pu être construit pour chaque processus de conception auquel nous avons assisté, mais le graphe général de l'activité a comme avantage de rassembler tous les outils médiateurs utiles à la réalisation de la tâche de conception.

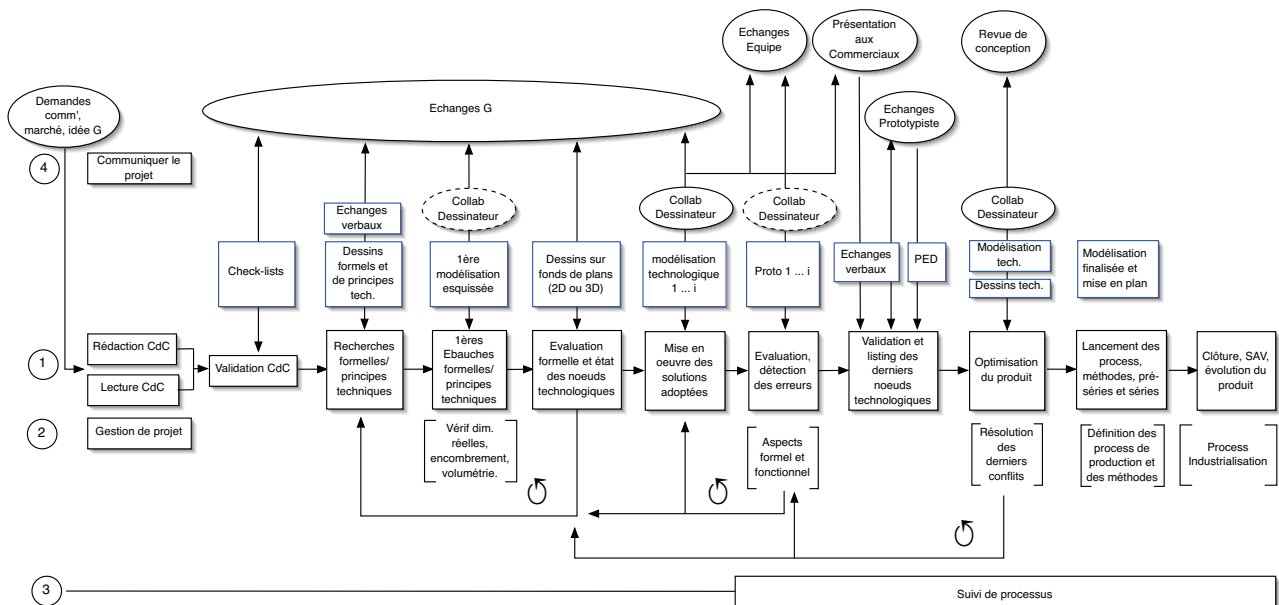


Fig 46 - Le graphe d'activité du designer, et sa couche "outils médiateurs".

²⁶ Le graphe d'activité du dessinateur nous aurait certainement apporté les mêmes informations, mais uniquement à propos de l'outil Pro-E.

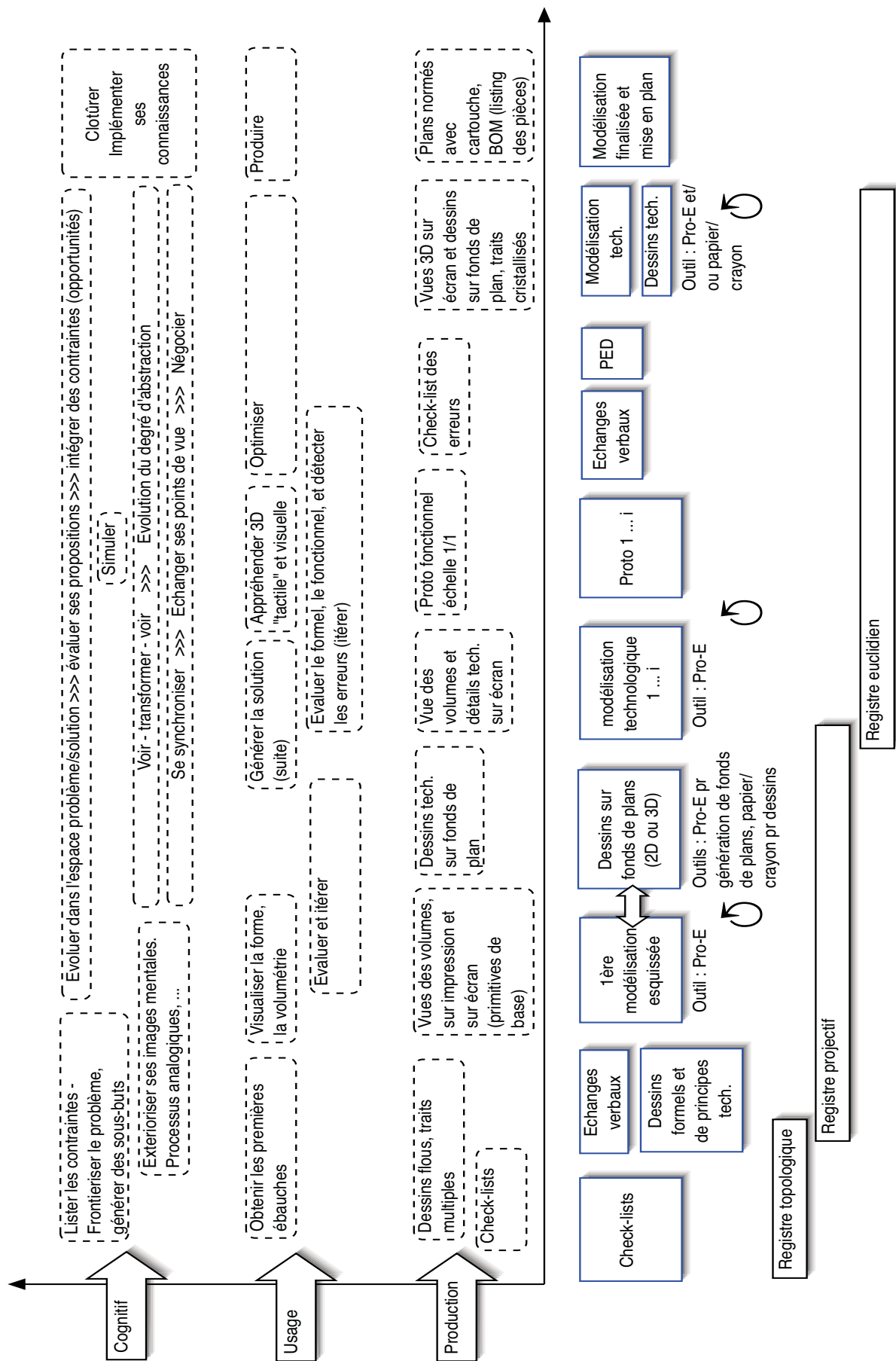


Fig 47 - Le graphe des objets médiateurs.

Ce graphe liste les différentes façon dont on peut voir l’outil médiateur et ses productions:

- i. un niveau cognitif: on liste ici la “phase” cognitive dans laquelle le concepteur se trouve : acquisition de connaissances, d’informations, évaluation, génération, itération, ...
- ii. un niveau usage: qui répond principalement à la question “à quoi ça sert ?”
- iii. un niveau production: qui évalue la production obtenue à chaque niveau de l’activité, dans sa chronologie, et dans son contenu.

En parallèle on a repris les différents registres de Lebahar (2007) : ceux-ci comme attendu se succèdent avec l’évolution du degré d’abstraction de la représentation.

Les principales conclusions que l’on peut tirer de ce graphe sont les suivantes :

- les boucles itératives cognitives correspondent bien aux boucles d’utilisation des outils médiateurs (dessin conceptuel > dessin technique > modélisation > prototype > dessin conceptuel);
- mais si les outils bouclent de façon relativement constante, et il n’est pas de même des contenus des représentations générées : il y a une évolution du niveau d’abstraction vers une mise en détail toujours plus fine (cfr. Rasmussen, 1979 dans état de l’art);
- chaque outil et chaque “boucle” de représentations correspondent à des phases d’action bien définies. Par exemple, les ébauches ne seront jamais soutenues par des dessins dont les traits sont déjà cristallisés;
- les prototypes s’associent d’après nous à une phase de “tests”, ou de “simulation” de l’objet en évolution;

Ce graphe nous aide de plus à réaliser que les premières modélisations “esquissées” (ou grossières) sont étroitement liées à la génération de fonds de plan qui serviront de base à des dessins pour des générations de nouvelles solutions formelles ou techniques.

Ce que nous appellerons, naïvement peut-être, les “schèmes d’utilisation” des outils mais aussi des représentations semblent bel et bien évoluer au cours du processus de conception et de l’introduction de nouvelles données du problème.

9.1.4. Apports respectifs des outils médiateurs

Nous avons observé, si on laisse de côté le fait que l’outil Pro-E soit imposé, que les outils sont utilisés par les opérateurs dans leur fonction la plus basique, soit l’outillage d’une conception, au gré de son déroulement et en fonction des éléments de contextes à considérer. On peut s’interroger alors sur ce qu’apportent respectivement les différents outils et leurs représentations, et ce qui détermine la sélection de l’un ou de l’autre. Afin de répondre à cette question, nous allons tout d’abord présenter nos observations quant aux contenus respectifs du dessin, des modélisations et des prototypes en termes d’avantages mais aussi de limitations. Les quelques extraits ci-dessous vont nous montrer que chaque opérateur développe ses propres stratégies de sélection, mais que quelques constantes s’établissent néanmoins.

Avantages du dessin.

Globalement, on peut déduire de tout ce qui a été dit avant que le dessin est utilisé lorsque la définition et la mise au point d’une nouvelle solution - conceptuelle, formelle ou technique - est nécessitée. Cette technique est rapidement mise en oeuvre et reste rentable pour l’exploration de diverses alternatives. Le dessin technique peut quant à lui apparaître à divers niveaux d’abstraction. Entre le schéma de principe et le dessin technique pointu, une seule différence : il y a nécessité dans le dernier cas d’une “base”, d’un environnement géométriquement défini qui permette une recherche de principe plus cadrée. Ce dessin technique est souvent à plus grande échelle - coupes imprimées en 1/1 pour ajouts de composants/évolution/validation en taille réelle :

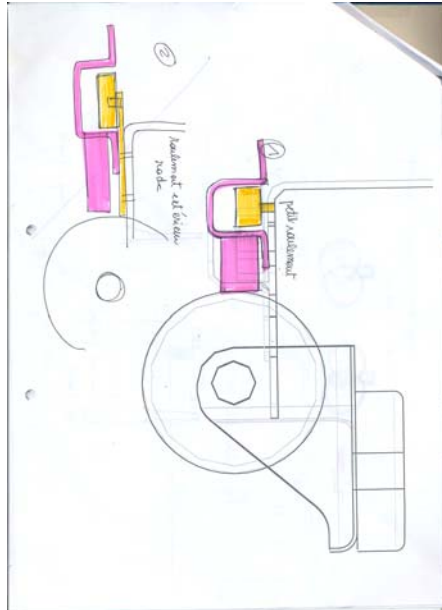


Fig 48 - un dessin technique à l'échelle 1/1

La sélection du dessin en plan (2D) ou perspective est régie par d'autres principes : cette sélection dépend du contenu de la représentation qui veut être mis en avant. La perspective, pour commencer, permet à l'opération d'explorer par exemple un mode de fonctionnement, un principe de plis, l'imbrication de pièces, de principes d'assemblage etc.

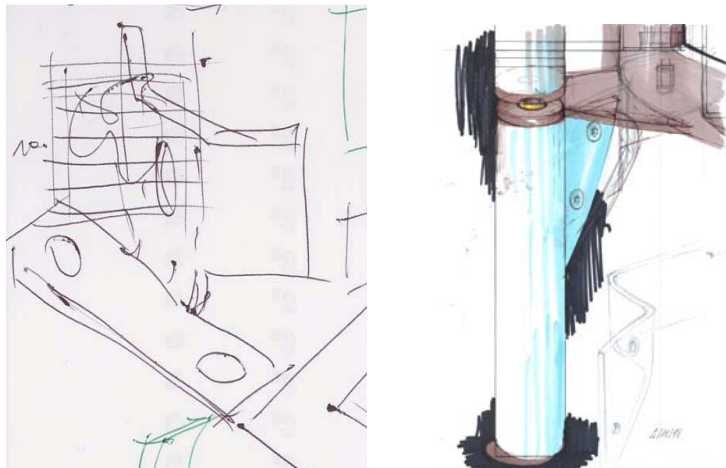


Fig 49 - exemples d'utilisation de la perspective.

Par rapport à un dessin en plan, la perspective rend possible un “test 3D” plus rapide qu’une modélisation CAO et plus rapide qu’une mise en plan dans les trois vues. Le plan, par contre, suffit amplement pour tester les dimensions, cotes et encombrements. Les coupes elles permettent de comprendre des fonctionnements internes. Nous noterons par contre qu’elles ne sont que très rarement utilisées pour des pièces en angle, où deux coupes seraient nécessaires et où la jonction devient compliquée.

Nous avons pu observer quoiqu’il en soit que les deux types de représentations sont indissociables et complémentaires, comme l’explique CH ci dessous :

“CH : c’est peut-être faux de dire qu’un dessin n’est que de la perspective : parfois on démarre en 2D et puis alors hop ! je fais ça, je triche, et ça redevient de la 3D, alors qu’au départ mon intention c’était de faire de la 2D.

E : donc dans votre tête c’est en 3D, et ça arrive sur le papier en 2D d’abord ?

CH : non non non !

E : ah, dans votre tête c’est de la 2D aussi ?

CH : heu ...je ne sais pas. C’est que ... il faut que mes yeux voient, quoi. C’est comme parfois, une maison ça peut être beau... on peut voir beaucoup de choses en élévation, et parfois on a envie de la faire en perspective. (...) Je pense que tout est intéressant ... il ne faut pas ... c’est comme si vous me disiez est ce qu’il faut une seule voiture dans le couple ? ou une petite et une grosse ? il faut de tout ! on peut pas s’arrêter à dire je veux de la 2D... heu... Il faut de tout. C’est important de faire parfois une vue 2D et parfois une vue 3D”.

Il n’existe pas de distinction claire ici entre la méthode choisie et la représentation obtenue. Le fait que le logiciel leur soit imposé présente peu d’importance : ce qui compte avant tout c’est de pouvoir visualiser son travail dans le mode de représentation qui est le plus constructif. Le choix de la modalité de représentation dépend donc du type de raisonnement qui doit être sous-tendu et du contenu qui est attendu.



Fig 50 - passage d’un plan 2D au 3D.

Le dessin, via la possibilité de cristallisation rapide d’un concept, reste (comme cela a été souligné dans l’état de l’art) un puissant outil de communication et de “gel” des attributs. Un gros marqueur suffit pour mettre très rapidement en valeur un élément. Il reste cependant nécessaire de partager le même référentiel commun. De même, quelques ombrages seront rapidement effectués à la main pour mettre le produit en valeur (ce qui prendrait beaucoup plus de temps via un outil CAO).

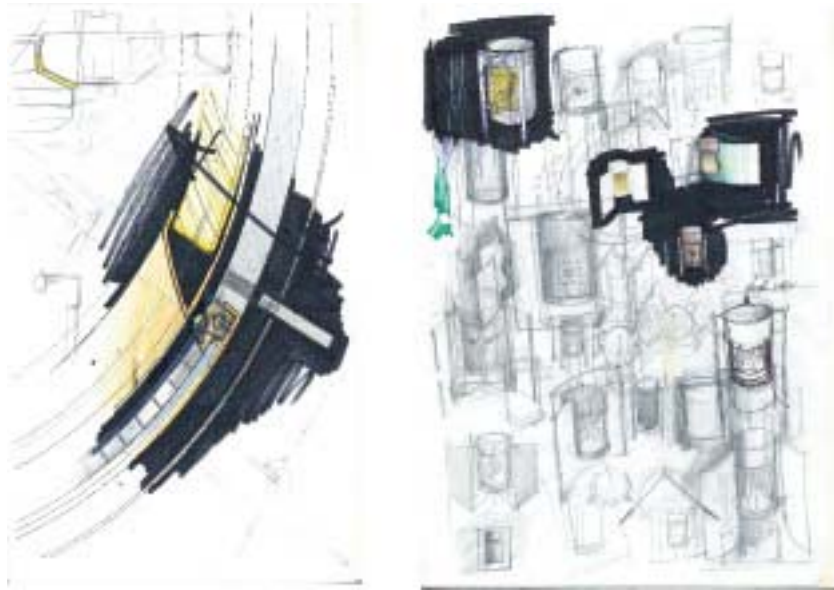


Fig 51 - la cristallisation des attributs : sur un même dessin ou au sein d'une page.

Le dessin est également apprécié pour sa polyvalence : il peut être utile n'importe quand et n'importe où, dès qu'il s'agit de discuter un principe. CH dit à ce propos : *“dans l'atelier, il nous est déjà arrivé de croquer avec un gros marqueur sur une palette de bois, ou même dans la poussière sur une plaque de métal”*. Le dessin permet d'aller vite, mais aussi de favoriser la créativité, qui reste très limitée sur CAO. D'après M *“on ne peut pas y faire des “courbes folles” : il faut définir les courbes par des points, donc la courbe “folle” n'est pas du tout folle. Elle doit être définie d'abord sur papier. Ce n'est pas du tout convivial ni prévu pour. C'est plus lent et moins naturel - je ne serais jamais aussi créative avec ma souris qu'avec mon crayon”*.

L'utilisation des couleurs est également un outil efficace : pour la communication, pour comprendre l'enchevêtrement des pièces (une couleur par pièce) lorsqu'un dessin les superpose et rend la lecture difficile; pour une cristallisation. Une des observations in situ nous a par exemple donné la possibilité d'entendre MA dire à M : *“moi je dirais qu'il y a une confrontation entre ça et ça... entre la pièce mauve et la pièce bleue ...”*. Les designers y trouvent une fonction en terme de “séparation” de la forme : l'utilisation de la couleur leur permet de tester les différentes variantes de découpe et d'assemblage de plusieurs pièces constitutives d'une forme. La couleur peut également devenir un code : CH n'utilise qu'un type de bleu pour surligner les pièces en tôle de 3 mm par exemple.

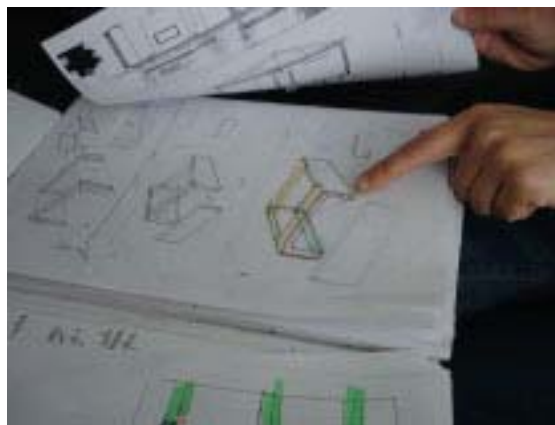


Fig 52 - utilisation de la couleur.

On a déjà pu par ailleurs observer que le dessin 2D n'était pas utilisé dans la même optique que le dessin en perspective, ce dernier étant plus souvent utilisé pour la formalisation d'un concept ou d'un mécanisme.

Limitations du dessin.

Comme présenté dans l'état de l'art, certains des dessins observés contiennent un haut degré d'implicite et peuvent vite s'avérer difficilement lisibles par quelqu'un d'autre que l'auteur lui-même :

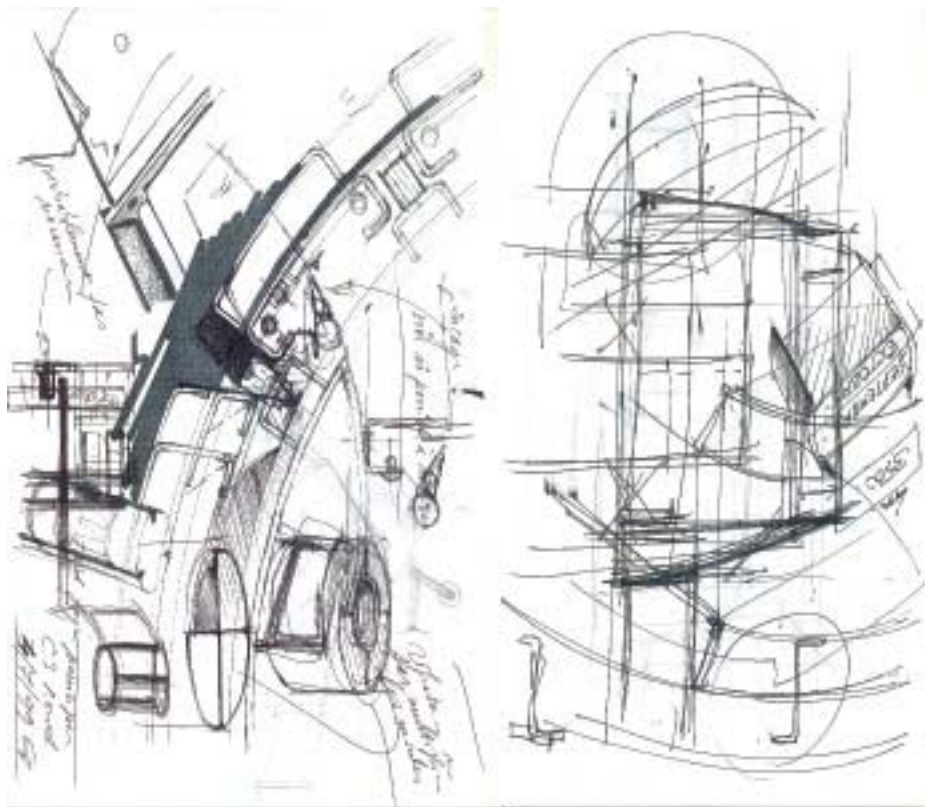


Fig 53 - haut degré d'implicite de l'esquisse, et superposition des contenus.

Les dessins de G par exemple peuvent s'avérer très difficiles à lire. CH dit à ce sujet *"nous mêmes parfois on ne sait plus ce que ça (la vue 2D) veut dire ni à quoi ça correspond"*. Il arrive en effet à G de proposer des dessins 2D Autocad® quasiment illisibles : la représentation ne figure ni une coupe, ni une élévation, ni un plan, mais un mélange des trois : on peut voir à la fois des flancs, des plans comme repères pour une autre pièce qui apparaît elle-même dans un autre plan; certaines pièces peuvent être rabattues dans la vue etc. Ce degré d'implicite peut mener à des incompréhensions et des interprétations hasardeuses de la part des collaborateurs. Par contre cet aspect "flou" exprime une certaine dynamique qui peut constituer un atout. Enfin, les contenus sont parfois trop limités : la représentation des matériaux, leur aspect, le degré de réalisme global, l'échelle et la précision des volumétries prend trop de temps à la main. CH reçoit souvent des esquisses de G et il en dit : *"je crois qu'il abuse un peu de moi, il me connaît trop bien : il m'a déjà donné des esquisses, où il n'y avait rien dessus. Il n'y a pas assez d'informations dessus. Il faut aller reposer des questions. C'est bien de comprendre sans avoir besoin d'explication, mais tout dépend du projet : s'il vient avec une esquisse pour un projet, ça fait 6 mois qu'on est dessus, ça va, on est dedans. Par contre, on démarre sur un nouveau projet, y a intérêt à achalander un peu l'esquisse, quoi"*.

Avantages de Pro-E.

Les produits issus de l'industrie du corps de chauffe présentent de nombreuses complexités technologiques, "cachées" par une enveloppe formelle elle relativement simple. Cette complexité se matérialise par une imbrication de pièces et d'assemblages qui doivent parfaitement s'associer dans des mécanismes qui ne peuvent pas se bloquer.

Le logiciel Pro-E, avec ses fonctions spécialisées pour la découpe et le pliage de tôles, présente bien des avantages pour les designers et dessinateurs. Le plus important est la capacité de visualiser les assemblages indépendamment ou au sein de leur environnement, afin de s'assurer qu'aucun conflit entre les pièces subsiste (tant en statique qu'en cinématique). La précision offerte permet la validation géométrique, volumétrique, proportionnelle et technologique (faisabilités productives, suivi de processus) du produit, indispensables par exemple pour faire breveter un principe.

La génération automatique des trois vues, la manipulation dynamique du volume (plus ou moins efficace selon la taille du fichier), la possibilité de faire de multiples coupes sont autant d'outils utilisés fréquemment par les opérateurs.

Une option plus particulière de Pro-E est l'abstraction de chaque pièce construite, dans un historique de fonctions appelé "arbre de référencement". Cet arbre organise hiérarchiquement les pièces : au sommet de l'arbre, le volume complet. Composé lui même d'assemblages fixé sur les "squelettes" présentés plus haut, qui eux se décomposent en pièces. L'avantage d'une telle structure est la possibilité de modifications et paramétrage : si on change un paramètre dans une première fonction, elles se modifient dans tous les niveaux inférieurs de l'arbre.

Enfin les différents types de visualisation constituent de puissants outils de communication et de construction d'un référentiel commun. L'interactivité 3D simplifie la lecture de l'objet, qui s'avère parfois beaucoup plus complexe en 2D. Elle soulage également l'effort de mémoire nécessaire à la réintroduction de la problématique analysée au sein de son environnement plus large. Cette facilité de visualisation, surtout pour les non-experts, est très importante pour les concepteurs. A ce sujet, CH dit : *"Avant l'arrivée de JM, je modélisais tout moi même, en 2D, et personne n'était capable de comprendre les plans sauf moi et G, qui a une excellente vue dans l'espace. Après 6 mois, les premiers protos sont sortis, et les premières conversations sont alors apparues plus facilement. Il y a une catégorie de gens qui savent faire des retours sur écrans en vue 3D : on a des retours un peu plus tôt, ce qui est très important. Mais ce n'est pas encore le cas de tout le monde."*

Limitations de Pro-E.

Le principal handicap lié à l'utilisation de Pro-E est le temps nécessaire à la modélisation de pièces et assemblages. J'annonce que pour certaines pièces très complexes (pour lesquelles Pro-E n'est en réalité plus l'outil le plus efficace) qui font appel à du maillage, des courbes de Bézier etc., le temps de modélisation peut atteindre 40 heures/pièce. Lorsque l'utilisateur se plonge trop vite dans une modélisation de détail, G observe que le projet avance "moins bien". Les idées et solutions sont bonnes, mais le manque de capacités en dessin hypothèque l'avancée du projet car il n'y a pas un moyen rapide et efficace de tester les solutions. Les allers/retours consomment en conséquence beaucoup plus de temps.

La trop grande précision du logiciel peut également constituer un piège: certaines options comme la pré-définition de paramètres sont considérées comme "fourbes". Des cônes standardisés par exemple, avec des angles à 45°, sont proposés par défaut. Certains concepteurs se disent freinés par le choix restreint d'éléments de base : la présentation de ces choix automatisés est vue comme une contrainte. Cette extrême précision peut devenir une lame à double tranchant. CH dit à ce propos : *"... tout est précis, les cotes sont très précises... c'est même dangereux, parce qu'on finit par se dire que tout est précis, alors que dans la réalité ce ne sera pas aussi précis"*. La construction des produits se fait certes au millimètre, mais pas au centième comme l'informatique peut le laisser croire.

Les possibilités de modifications et paramétrage peuvent également constituer un piège. La pièce considérée seule peut être modifiée très simplement. Mais si elle est liée à d'autres pièces de l'environnement, cette modification va influencer les pièces alentour, ce qui peut passer inaperçu et créer des conflits de pièces (le logiciel ne fournit pas d'alertes à ce niveau). Il n'existe pas non plus de possibilité de gel des attributs, comme sur le dessin : les concepteurs voudraient parfois que certaines pièces, une fois définies, contraignent et empêchent certaines modifications leur portant atteinte. Le seul moyen d'éviter ces modifications en

cascade est de désactiver, dans l'arbre, les pièces qui ne peuvent être modifiées. Cette tâche, induite par le mode de fonctionnement du logiciel, est parfaitement superflue et ne correspond pas aux schèmes des opérateurs.

Les potentialités de visualisation s'accompagnent également de certains désavantages. Les impressions de vues 3D sont souvent illisibles et constituent des bases de travail malheureusement inutilisables. Seuls les fonds de plans 2D sont utilisés comme support aux dessins.

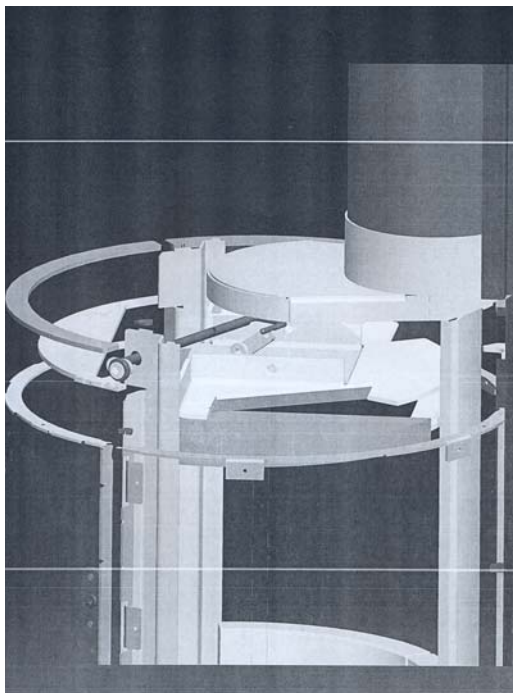


Fig 54 - illisibilité de l'impression d'une vue 3D.

La visualisation d'une modélisation 3D n'est donc efficace qu'à l'écran. Or ses dimensions réduites posent également de multiples problèmes. Cet impact des dimensions restreintes de l'écran n'est pas neuf. Béguin, Rabardel et Trotta (1992) expliquent qu'il diminue les moyens de communication, le projet prenant un caractère plus "privé". Les rafraîchissements par zooms, d'après ces auteurs, perturbent et interrompent les processus globaux de conception. Certains éléments du projet échappent à toute vigilance, et cela pourrait être lié aux difficultés de visualisation et à la perte d'une certaine référence et d'une réalité de l'objet. CH donne un exemple lié à l'impossibilité de visualiser l'objet dans son échelle réelle: *"il y a un problème de forme, qui m'inquiète : c'est le trou sur le portillon (le trou qui devra laisser passer le système d'ouverture du registre). Je le trouve un peu grand, et donc heu ... là, c'est même pas sur l'ordinateur qu'on le voit, mais c'est sur le proto ! Là aussi, c'est un gros, gros défaut de l'informatique, par rapport à l'écran, c'est qu'on a pas le réflexe de regarder l'objet dans sa taille réelle (1/1). (...) Je suis sûr que ça n'a choqué personne, vous voyez le trou ici ? aux réunions, jamais personne n'a dit ah, c'est un peu gros ... et maintenant, moi, je le trouve un peu gros. Et j'en discutais avec MA, qui me dit ah oui, c'est un peu gros (...) mais ça, c'est la troisième étape, c'est sur le proto. C'est très difficile de donner son avis ... On nous dit parfois hé, vous avez le truc là, tout fini, toutes les pièces modélisées exactement comme elles devraient exister, c'est bon, tout devrait être bon, vous devriez être sûrs de votre coup là ! Mais non, quand on a le proto devant soi, c'est encore une autre étape. On a les proportions, ; ça balaye tout. Donc l'informatique, le papier (il fait un geste de la main) il y a rien de tel que d'avoir une maquette devant soi".* Un autre exemple peut être donné, plus lié au degré de vigilance qui semble diminuer au cours de la modélisation : *"pendant qu'on a dessiné le 30 compact, pendant un an, un an et demi, on a dessiné des rayons de porte, des parements, des dessus, comme si c'était un 30. Mais pendant un an, vous êtes là, sur votre ordinateur, et puis après, on a lancé le premier proto, et puis on arrive dans l'atelier... on se regarde tous ...on s'est pas gourés, là, les gars ? il n'y a pas*

une erreur d'échelle ou quoi ? on était tellement sûrs que le truc allait être gros, comme un 30, que quand on a vu les pièces on s'est dit merde on s'est trompés dans l'échelle des pièces ... et puis pour finir on a assemblé le tout, et non, c'était bien ça, mais pendant quelques secondes, on a eu une angoisse".

Enfin, nous soulignerons le problème qu'à un designer/dessinateur de s'approprier un modèle généré par quelqu'un d'autre. Certaines modélisations des produits "30" et "30 UP" et "30 COMPACT" ont été effectuées par un sous-traitant de manière détaillée mais chaotique en terme d'organisation des pièces dans l'arbre de référencement. CH, qui a été le premier à se réapproprier le modèle, dit: *"tout est trafiqué, c'est un bordel, quand on change un truc tout bouge, et donc je vais essayer de changer deux cotes, si ça n'est pas planté, je démarre sur ça. Si par contre ça a planté, je dessinerai alors un autre truc, mais là ça va me prendre beaucoup de temps"*. Cet appel à un sous-traitant est justifiée par G comme suit : *"Pour le 30 compact, j'ai fait appel à un sous-traitant pour la modélisation 3D, pour donner la preuve que quelqu'un qui n'est pas empêtré dans notre tissu organisationnel peut être beaucoup plus efficace. Et en effet, preuve est faite, puisque le modèle a été terminé beaucoup plus rapidement."* Cette modélisation, certes plus rapide, est néanmoins pleine d'erreurs, que l'on peut expliquer par la flagrante inadaptation du système d'arbre au mode de pensée et de conception des utilisateurs.

Avantages des prototypes.

Les prototypes sont également des outils médiateurs couramment utilisés au sein de l'équipe. Le dernier proto en date trouve toujours sa place au sein du bureau (voir Annexe 16.9), et designers tout comme dessinateurs y accèdent souvent pour prendre des mesures, actionner un mécanisme ou évaluer une possibilité.

Parmi les avantages, on peut dire des protos qu'ils sont particulièrement utiles pour évaluer et valider certains choix conceptuels, signaler des erreurs et échanger des points de vue en équipe. Ils pourraient par là être assimilés à des outils de simulation puisqu'ils permettent au concepteur d'évaluer les impacts de l'acte de conception sur ses collaborateurs et la situation et de tester les fonctions et la structure de l'artefact (Darses, 2004). Le concepteur utilise le proto pour approcher en quelque sorte l'activité future.

Limitations des prototypes.

Leur principale limitation relève de leur coût et des efforts de production qu'ils nécessitent. Comme tous objets matériels ils sont difficilement modifiables.

Conclusions de cette section.

Les apports respectifs des différents outils médiateurs peuvent être résumés comme suit :

- i) le dessin sert à l'ébauche de toute proposition de nouveau concept, qu'il soit formel ou technique;
- ii) Pro-E sert à valider géométriquement les pièces, s'assurer qu'aucun conflit avec l'environnement n'existe et à intégrer visuellement une problématique dans un contexte existant;
- iii) le proto sert à détecter les dernières erreurs, à fournir au concepteur une approche "matérielle" de l'objet et à simuler les actions futures.

Nous avons pu relever quelques inadaptations des outils aux schèmes d'utilisation souhaités (impossibilité de geler les attributs, inadéquation d'une construction en arbre, difficultés de visualisation, ...). Mais nous observons globalement que le concepteur et le dessinateurs s'adaptent à ces difficultés, s'approprient la situation telle quelle ou la détournent, et adoptent outils et représentations qui conviennent à leurs objectifs. Tous les outils semblent présenter, au travers de leurs fonctions propres, une importance équivalente au yeux des opérateurs.

9.1.5. Adéquation des outils avec les “représentations internes”

Les opérateurs ont éprouvé quelques difficultés à expliquer si l'image que leur renvoyait les diverses représentations externes était ou non en adéquation avec l'image mentale qu'ils avaient à ce moment particulier. Nous récoltons pourtant à ce sujet quelques éléments de réponse intéressants.

Certains designers “voient” mentalement les objets en 3D et préfèrent coucher les idées en 2D si les potentiels du plan leur suffisent. Dans le cas où ils doivent eux même modéliser sur Pro-E le produit à partir de ce plan, une “gymnastique” de transition, plus ou moins complexe pour certains, apparaît. CH dit : *“donc pour modéliser ça, je dois me vider mon esprit et ne plus penser en 2D, Donc ça c'est la première chose, c'est un effort déjà, et puis je dois penser en volume, donc ça c'est le premier truc que je vais faire, et puis j'utilise les outils à disposition, par exemple “coque” pour avoir une boîte creuse. Je dois réfléchir Pro-E, quoi.”* J pour sa part ajoute que *“ si j'avais le choix, je préférerais modifier tout directement en 3D : visuellement ce serait plus facile, et on ne devrait pas faire la gymnastique intellectuelle de comprendre en 2D ce qu'on vient de voir en 3D, pour le modifier en 2D et voir finalement les conséquences de son acte en 3D”*.

Pour les dessinateurs par contre la situation est autre : le passage du dessin 2D donné par le designer vers la 3D numérique peut devenir très difficile. Une réflexion initiale doit être faite d'abord pour savoir comment “décomposer” la pièce complexe en sous-éléments plus facilement modélisables. La question du “comment modéliser” se pose plus souvent que “quoi modéliser”, et comme expliqué grâce au graphe d'activité du dessinateur, l'essence du dessin, noeuds techniques et points durs seront extraits du dessin en premier lieu. Ils parlent à ce sujet même de “programmation” de la modélisation : il faut faire abstraction de la représentation et mettre au point une stratégie efficace pour gagner du temps et construire des arbres de référencement cohérents. On retient de cette courte section:

- que les transitions mentales sont différentes entre designers et dessinateurs, soit entre auteur du dessin et interpréteur;
- que pour les designers, une “pensée Pro-E” se développe, qui peut ou non être en adéquation avec les schèmes mentaux;
- que pour les dessinateurs, une “programmation” de la modélisation et une extraction de l'essence du dessin est faite anticipativement à la modélisation.

9.1.6. Autres caractéristiques des outils médiateurs

D'autres caractéristiques des outils médiateurs ont été relevées, que nous listons brièvement ici. Certaines traces des précédents projets peuvent construire un référentiel commun : les modèles 3D achevés, dessins, et protos d'un projet d'une même gamme peuvent être utilisés comme source d'inspiration ou de données techniques lors de la conception d'un nouveau produit. Le format de la représentation récupérée (proto, modèle 3D ou dessin) influencera la manière dont le nouveau projet sera abordé.

Les outils médiateurs subissent des catachrèses qui participent au développement de leur genèse d'utilisation (voir état de l'art, Rabardel 1995). Alors que G, durant une séance de conception de la porte du 30 UP, dessine au crayon à même la tôle du proto présent dans le bureau afin de se faire mieux comprendre de M, on assiste à une catachrèse tant de l'outil (le proto n'est normalement pas un support de dessin) que de la représentation (voir Annexe 16.5 et 16.6).

Une autre type de genèse instrumentale apparaît, nous le verrons dans la section suivante, dans la manière dont J et JE s'approprient le système de gestion et de partage des documents et la façon dont ils le transforment. Les différents types d'utilisation peuvent se rapporter aux théories du “*design in use et design for use*” développées par Folcher (2003).

9.2. Hypothèse 2 : influence des modalités de la collaboration sur les outils médiateurs

Notre hypothèse 2, qui teste l'influence des modalités de la collaboration sur la fonction et le contenu des représentations et des outils médiateurs, se vérifie également, et même dans deux sens de lecture. D'une part les collaborateurs vont avoir une influence sur le choix des représentations, mais d'autre part les représentations vont avoir une influence sur la répartition des tâches entre acteurs et sur la façon dont on va collaborer à l'avenir. Nous tenterons d'étoffer ces résultats en mettant tout d'abord au point un schéma de fonctionnement collaboratif de l'équipe, construit sur des données non prescriptives cette fois (au contraire des graphes hiérarchiques présentés précédemment) afin de mieux comprendre le positionnement de chacun dans une perspective collaborative.

9.2.1. Graphe des relations collaboratives

Le graphe de fonctionnement de l'équipe en terme collaboratif reste très hiérarchisé : une nette différence de modalités apparaît pour les trois entités collaboratives que l'on a pu relever, soit les relations :

- i. G/designers : le référentiel commun est partagé, la relation hiérarchique est forte car les compétences sont proches et c'est pourtant à G que revient la décision finale. Les échanges se font tant sur le dessin formel et technique que sur le modèle Pro-E.
- ii. designers/dessinateurs : le référentiel commun est globalement partagé, la co-conception existe au travers de validations/détections des erreurs suite à la modélisation. Les échanges se font principalement via le dessin, des fonds de plan imprimés et la visualisation du modèle à l'écran.
- iii. G/dessinateurs : la relation est dictée principalement par le prescrit, G fait la demande de modèles 3D selon ses désirs et dans des délais fixés.

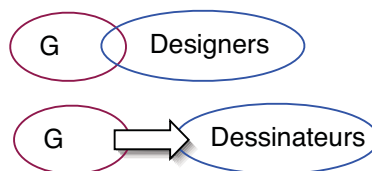


Fig 55 - les modalités collaboratives impactées par la structure hiérarchique.

Les collaborations entretenues, d'une manière globale, par les designers sont représentés dans la partie haute du graphe de leur activité :

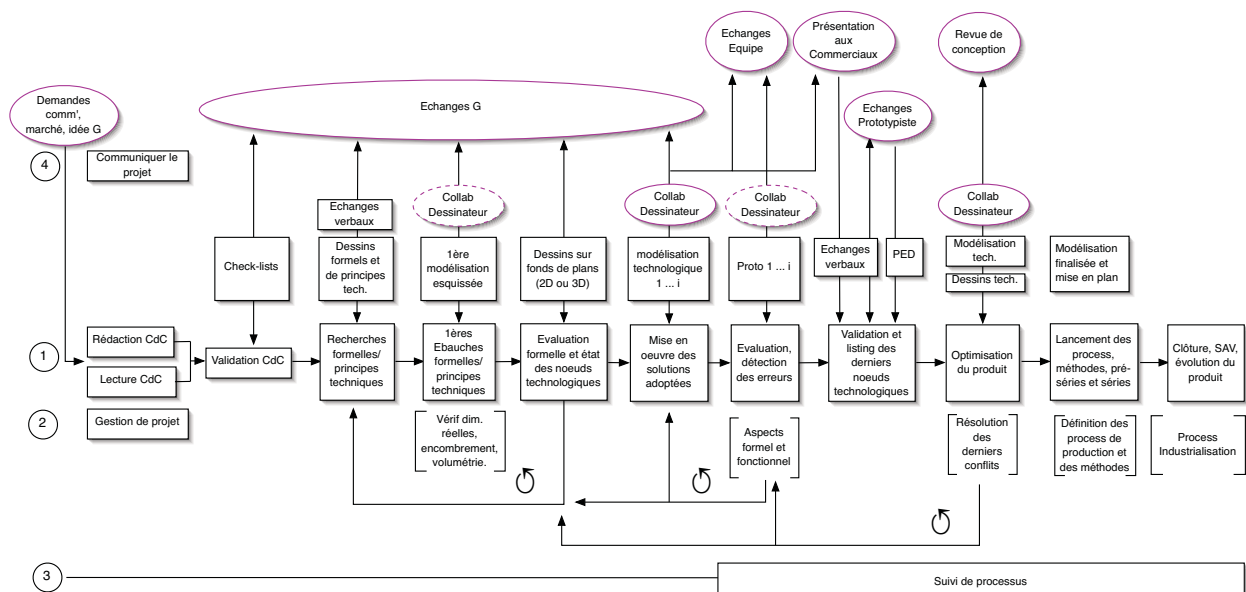


Fig 56 - couche collaborative du graphe d'activité du designer.

Le designer entretient d'étroites relations (hiérarchisées) avec G, partage avec le dessinateur une certaine forme de co-activité au travers de la construction du modèle 3D, et une collaboration avec le prototypiste au travers de la production et l'évaluation des prototypes. L'équipe de conception dans sa globalité doit "satisfaire" les demandes des commerciaux, véhiculées par G, et ne valide que quelques décisions au niveau "bas" de la structure hiérarchique, auprès des sous-traitants.

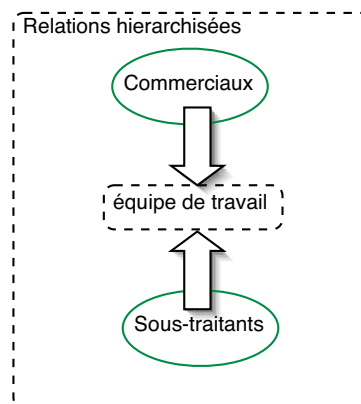


Fig 57 - modalités collaboratives de l'équipe avec l'extérieur.

Au sein de l'équipe des sous-groupes se forment, entretenant des relations différentes, également impactées par la disposition géographique des individus :

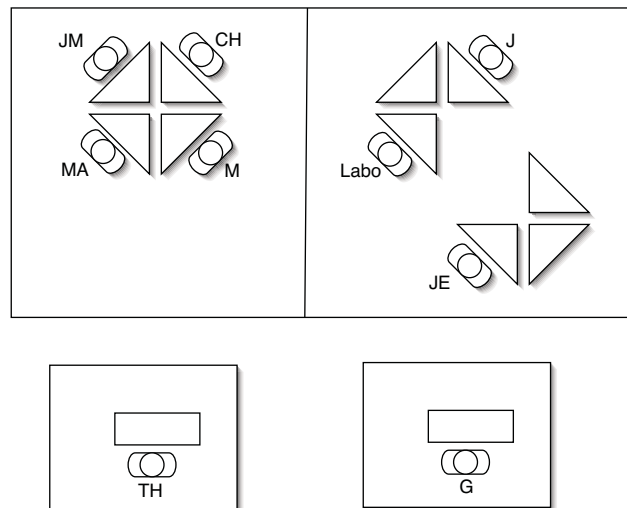


Fig 58 - répartition géographique des opérateurs.

Dans une première moitié de l'open-space se rassemblent CH et JM, MA et M; dans l'autre on trouve, séparés de quelques mètres, J et JE et un responsable du labo (labo feu). TH et G ont chacun un bureau, séparés du reste de l'équipe. Cette dispersion des opérateurs contribue à la construction de différentes modalités de la collaboration qui sont résumées dans le graphe suivant :

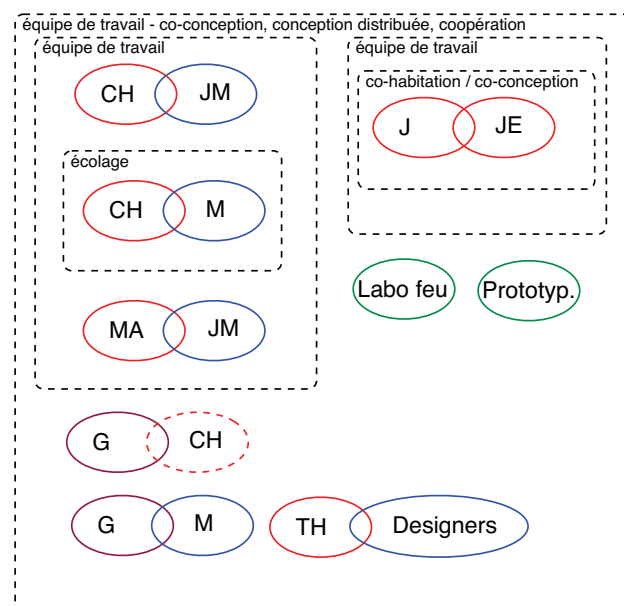


Fig 59 - différentes modalités collaboratives.

Au sein de l'équipe de travail globale co-existent deux sous équipes distinctes. L'équipe "A", composée de CH, JM, MA et M et l'équipe "B", composée de J et JE. L'équipe "A" met en place des co-conceptions "designer-dessinateur", selon différents "niveaux", tandis que l'équipe de J et JE fonctionnent sur un mode que nous appelons de "co-habitation". Autour de ces sous-équipes évoluent d'autres binômes, ceux de G et CH par exemple (CH qui peut dans certains cas être sollicité en tant que designer et dans d'autres plutôt comme dessinateur), G et M, ou encore TH et les designers. Dans ce dernier cas, plus particulier, TH est sollicité pour ses compétences de thermodynamicien. Il devient momentanément, pour des problématiques très précises, le "concepteur" (couleur rouge) tandis que les designers appliquent (via le dessin ou la modélisation) ses principes en conservant la possibilité de les évaluer et de les discuter - tout comme les

dessinateurs (couleur bleue). Le personnel du labo feu et le prototypiste, enfin, se positionnent plus comme “expert-conseil” dans des domaines très particuliers, leur tâche se limitant à construire/tester les produits et fournir à l’équipe les résultats de leur travail. Ces différentes modalités collaboratives, que nous développons dans la section suivante, impactent l’utilisation des outils et/ou des représentations. Dans une certaine mesure se développe entre les équipes A et B une forme de “co-action”, dans le sens où les buts des deux équipes sont différenciés mais qu’ils partagent les mêmes structures et ressources (Darses, 2004).

9.2.2. Influence de la modalité de la collaboration sur les représentations

Cette section va recenser, binôme par binôme, les modalités collaboratives et les impacts sur les modes de travail et d’utilisation des objets médiateurs que nous avons pu relever.

Collaboration G/designers : des négociations et le phénomène des “commandes”

Nous appellerons la “commande” la pratique la plus fréquemment relevée de mode de collaboration que G entretient avec les designers. Plusieurs cas apparaissent : G arrive, le matin en général, avec un dessin griffonné la veille au soir d’une idée qui lui est venue. Il fournit le croquis au designer, l’explique, le discute éventuellement, et “commande” (i) une modélisation ou (ii) l’approfondissement du concept (technique en général) sur dessin, supporté par un fond de plan généralement.

Collaboration G/dessinateurs - relation basée sur la prescription et phénomène des “commandes”

G reconnaît avoir peu de relation avec les dessinateurs, mais désire cependant, après les avoir engagés, tester leur “bon sens technique”. Il a en effet réalisé que la collaboration designer/dessinateur pouvait s’avérer très fructueuse à condition que le dessinateur puisse rapidement acquérir les connaissances nécessaires au partage du référentiel commun, et la synchronisation cognitive nécessaire passe par ce “bon sens technique” d’après lui. D’une manière globale, on retiendra que G ne modélisant jamais, il peut donc exprimer le souhait

- soit qu’un concept/solution soit trouvé, et la discussion peut alors avoir lieu sur tout type de support, en fonction des principes de sélection discutés plus haut ;
- soit qu’une modélisation soit effectuée par i) un des designers, lorsque les dessinateurs ne sont pas disponibles, pour pouvoir passer rapidement une commande par exemple. Le point de discussion aura alors plus généralement lieu sur un fond de plan imprimé, qui aidera à fixer les dimensions et proportions et facilitera ainsi la transmission à l’ordinateur; ii) par le dessinateur, qui devra se tourner vers le designer chef de projet en cas d’incompréhensions.

Il souligne que la bonne gérance de divers métiers, présentant spécificité et sensibilités différentes, est parfois difficile. Chacun doit pouvoir s’exprimer, sans pour autant que les designers ne veulent devenir dessinateur et vice-versa. Les opérateurs présentent en effet des compétences diverses et c’est cette complémentarité d’approches qui enrichit le processus. Il souhaiterait simplement que tous soient “plus efficaces”, c’est-à-dire qu’ils gardent en mémoire tous les problèmes soulevés, qu’ils aient une vision d’ensemble et une bonne compréhension technique du projet, de manière à pouvoir en structurer l’évoluer.

Collaboration designers - dessinateurs.

Les supports des échanges entre designers et dessinateurs vont varier d’un binôme à l’autre. D’une manière générale, nous pouvons noter que :

- soit l’information passe du designer au dessinateur via un principe technique qui est fourni au travers d’un dessin par exemple, ou une modélisation grossière;
- soit l’information passer du dessinateur au designer, toujours d’abord sous forme d’échange face à l’ordinateur, le dessinateur ayant mis à jour une erreur suite à sa modélisation. La discussion peut ensuite se faire à nouveau sur dessin, ou bien sur une impression de plan en 2D.

Collaboration CH/JM : la conception distribuée.

Ces deux opérateurs sont habitués de longue date à travailler ensemble : c'est une conception distribuée dans son sens le plus simple qui s'installe, CH s'occupant de faire de la conception, JM assurant l'application pure en modélisation des concepts ainsi définis, et assurant les retours en cas d'erreurs. On a vu plus tôt que leur proximité géographique est garante de produits mieux conçus et modélisés. Lorsque le prototypiste a fourni à CH sa liste PED et que celui-ci en a pris connaissance, il la laisse alors sans plus d'explication à JM qui commence les modifications. Certains dessins peuvent éventuellement accompagner la liste, mais c'est rare. Comme le dit CH : *“JM connaît bien son travail, quand on lui dit - supprimer tenon sur traverse intermédiaire et mettre même jeu que sur un 30, 30 in et 30 up - c'est clair, il est capable de comprendre”*.

Collaboration CH/M : “écolage”

M étant nouveau arrivé dans l'entreprise, il est encore en phase d'écolage et est encadré par CH. Les modalités de collaboration s'en voient modifiées : M a besoin en effet de nombreuses explications pour acquérir les bases nécessaires à la production de corps de chauffe. Les échanges sont nombreux, mais consistent plus en une suite de questions/réponses qu'une réelle co-conception. M parvient peu à peu à contribuer à la conception, comme on a pu le voir dans l'analyse rétrospective du produit “30 COMPACT”. Dans ce contexte particulier, il suit beaucoup les conseils de CH qui parvient à évaluer si G est relativement satisfait d'une solution - cela vaut la peine donc pour M de passer du temps à la modéliser; ou si au contraire les modifications vont encore être nombreuses. Des erreurs et incompréhensions peuvent survenir, mais sont acceptées comme les aléas de la collaboration. Comme le dit CH *“des petites erreurs comme ça, il y en a plein, donc voilà, il faut les mettre à jour. Mais il y en a beaucoup aussi, parce que la personne qui a dessiné (note : le sous traitant) le 30 compact dans ce cas ci, ne connaît pas le 30 et 30 in, ne connaît pas les principes. Savez, c'est pas facile, pour quelqu'un qui ne connaît pas le truc, même pour moi ... dessiner le 30 au début, je connaissais quasi les cotes par coeur, parce que c'est moi qui l'ai conçu ! je sais que le rayon d'un 30, c'est 272,5 ... j'ai des cotes en tête comme ça, parce que c'est moi qui l'ai pondue. Mais ici M, il démarre sur le 30 compact, forcément il découvre plein de trucs, il passe beaucoup de temps à rechercher...”*

Collaboration J/JE : l'influence de l'outil et la “co-habitation”.

JE est également nouveau dans la profession, mais se charge de tâches différentes de celles de M, qui n'impliquent pas le même type de collaboration avec le designer responsable du projet, J dans ce cas présent. La conception et la modélisation étant effectuée de part et d'autre, chacun s'est réparti les tâches (J s'occupe du corps de chauffe, JE de l'échangeur par exemple), et le référentiel est beaucoup plus partagé de par les compétences en ingénierie de JE notamment. Cette répartition de leurs tâche impacte leur collaboration, puisqu'il travaillent chacun de leur côté sans “parasiter” le travail de l'autre, et cette collaboration est elle-même fortement influencée par l'outil de modélisation et de partage des références qu'ils utilisent, SAP.

Cet outil de partage du modèle n'est apparu que dernièrement. Ils expliquent que, avant, tout était moins facile : *“on faisait informatiquement x copies en fonction du nombre de personnes travaillant sur le projet, et en fin de journée, on rassemblait tous les dessins pour gérer les conflits de double modifs sur une même pièce etc. C'était énorme, ça prenait 8 h”*. Actuellement ils se partagent les “droits” sur un arbre de référencement commun via un logiciel type “gestionnaire de documents”, appelé SAP. Le travail s'effectue en plusieurs phases. Tout d'abord les opérateurs doivent déclarer sur quelles pièces de l'assemblage ils désirent travailler, et acquérir les droits sur les arbres de cette pièce. En se l'appropriant, ils la sortent de ce qu'ils appellent un “coffre-fort” commun. Chaque opérateur peut ensuite modifier à loisir la pièce, et en fin de journée chacun ré-importe la pièce ainsi modifiée dans le “coffre-fort”. Le programme SAP met ainsi tout le modèle à jour. De plus, SAP connaissant les relations qui existent entre les pièces, il ne permet pas des modifications qui entraîneraient un impact quelconque sur les pièces pour lesquelles l'utilisateur n'a pas acquis les droits.

Ce gestionnaire requiert des utilisateurs qu'ils modifient quelque peu leur manière de modéliser, mais pour un gain de temps énorme. En effet, il nécessite une construction du modèle en limitant au maximum les interfaces entre les pièces. D'après J, c'est antinomique avec la manière de travailler habituelle : quand on

créée, on sait difficilement dire à l'avance ce qu'on va dessiner, et donc les interfaces avec les autres pièces (interface = des plans qui vont bouger ensemble). Donc une fois la pièce créée, il lui faudra la redessiner de manière à limiter les interfaces partagées. Cette méthode est assez contraignante, pour J particulièrement qui dit *“je n'arrivais pas à le faire au début : il me faut dessiner un peu, définir les interfaces topologiques de manière assez précise pour que ça fonctionne”*. D'autres difficultés sont relevées, comme l'explique J : *“le plus gênant c'est de modifier par erreur une pièce qui n'est pas hors du “coffre-fort”. On la modifie sans s'en rendre compte, car pour travailler on affiche tout de même l'ensemble du poêle pour avoir tous les éléments de contexte. Et une fois qu'on se rend compte de l'erreur, il n'y a plus moyen de la remettre dans le coffre dans sa forme originale, ou en tout cas c'est très compliqué. On a du avoir recours au concepteur (du logiciel) pour y remédier”*. Il ajoute que *“un autre souci est que pour modéliser une pièce faisant partie d'un assemblage, il faut avoir les droits sur l'assemblage de tête. Mais comme on travaille à plusieurs sur un même assemblage, on a tous besoin des droits, ce qui n'est pas possible... alors c'est difficile pour la répartition des tâches. Pour le moment on bricole en annonçant à l'ordi qu'on a rien modifié”*. On voit ici que la modalité de collaboration impacte à son tour l'utilisation des outils, générant ici ce que l'on pourrait appeler des catachrèses.

Ce binôme est assez particulier, puisqu'il partage un référentiel commun important, des compétences communes (conception et modélisation) et “co-habitent” littéralement sur une même modélisation au travers du module de partage de fichiers SAP.

Conclusions de cette section :

Il semblerait donc d'une manière générale que **l'interface de collaboration s'approche toujours au plus du mode opératoire habituel du métier avec qui on collabore**. Dessin et modèle entre designers, dessin et visualisation à l'écran entre dessinateurs et designers, prototype entre prototypiste et designer. La modalité de collaboration a donc bien un impact sur l'outil et la représentation utilisés, et les contenus des représentations partagées varient d'une modalité à l'autre également. Ces modalités sont dépendantes du niveau d'expertise en CAO et en connaissances “métier”, mais aussi des répartitions des tâches. Ces répartitions sont également impactées par les outils, SAP par exemple, ce que nous développerons dans la section suivante. Enfin, l'outil peut avoir un impact sur une modalité de collaboration, et ce il semblerait plus particulièrement lorsque le schème d'utilisation n'est pas en adéquation avec le mode collaboratif.

9.2.3. Influence des outils sur la répartition des tâches

Nous nous interrogeons quant à l'impact des outils sur la répartition des tâches. Nous avons déjà observé l'influence de l'outil SAP. D'autre part, le terrain nous apprend que le dessinateur, avec quelques années d'expérience au sein de l'entreprise, va prendre réellement part au projet de conception. A ce stade, peu importe alors qui modélise : le dessinateur sera tout aussi capable d'évaluer l'image que lui renvoie l'écran et d'y déceler d'éventuelles erreurs²⁷.

Les outils, à partir d'un certain “temps d'adaptation”, semblent impacter la répartition des tâches mais de manière “secondaire”. Par contre, si on interroge l'influence de la répartition des tâches sur l'utilisation des outils, d'autres conclusions sont tirées. Nous avons pu en effet suivre plusieurs processus où le designer, faute de dessinateur disponible, a dû générer lui même la modélisation. Certains, tels que J, qui apprécient cette tâche, s'en disent satisfaits. Pour eux achever la modélisation est la garantie que le travail est bien fait et que la tâche est aboutie. Pour d'autres, comme MA par exemple, la présence d'un dessinateur qui peut se charger de plusieurs de ses tâches est un grand soulagement, qui lui libère du temps pour la poursuite en parallèle de recherche de solutions pour les noeuds technologiques. En contre-partie il est nécessaire d'entretenir avec le dessinateur une étroite collaboration pour conserver une certaine efficacité. Les dessins deviennent un support collaboratif préférentiel, et il faut faire sorte que leur “essence” soit directement captée par le dessinateur.

²⁷ Notons cependant que la durée de modélisation pour un dessinateur sera plus courte que pour un designer.

9.2.4. Nécessité de la multimodalité

L'utilisation d'un seul outil et/ou d'une seule représentation est rare, les objets étant souvent accumulés pour garantir le partage d'un référentiel commun complet. Rabardel avait déjà soulevé ce point en énonçant que "chaque outil remplit généralement sa ou ses fonctions formelles, mais aussi d'autres fonctions. Une certaine redondance est ainsi introduite par l'opérateur dans son outillage (...) qui est ainsi restructuré et organisé et forme un ensemble homogène où se réalise un meilleur équilibre entre les objectifs d'économie et d'efficacité" (1991, p.128, cité par Bourmaud, 2006). Il semblerait que dans le cas présent, où un des outils est imposé (Pro-E), cette nécessité de redondance et de multimodalité se fait encore plus pressante. Plusieurs observations attestent de cette nécessité d'une multimodalité au sein d'une conception collaborative. Ainsi, on a pu observer que

- le travail de conception sur prototype s'accompagne d'énormément de gestuelle, visant à expliciter aux collaborateurs l'emplacement des éléments, leur cinématique, leur relation avec l'environnement existant, ou tout simplement pour les désigner et les faire reconnaître de tous, lorsque cela s'avère plus efficace que via le dessin ou la CAO;
- le passage d'un dessin personnel à un collaborateur se fait toujours avec un commentaire;
- Une certaine forme d'écoute flottante existe aussi pour M par exemple, qui construit des check-list pour éviter de réitérer certaines erreurs, en se basant sur les erreurs des autres; ainsi que pour les sous-équipes qui coopèrent régulièrement lors de résolutions de problématiques plus spécifiques. Cette modalité de l'écoute flottante semble importante pour la construction et le partage du référentiel commun;
- l'explication d'un principe s'accompagne de gestuelle, comme l'extrait suivant peut nous le faire comprendre. CH nous explique " *tout le monde n'est pas d'accord avec moi. Mais moi pour mon cas, si je veux comprendre le principe de la fumée... Je vais faire une vue de profil de cette forme ci ... Il y a un déviateur qui est situé ici ... il y a une chambre de combustion là ... il y a le sol ... il y a un dessus ... il y a (il change de couleur de bic : bleu) de l'air combustion qui fait ça, et puis qui passe là, et puis qui revient devant, et puis qui rentre dans le feu, et puis ça se réchauffe, et puis ... (il change de couleur de bic : vert) après ça se réchauffe et puis heu ... ça passe ici puis ça repasse ainsi puis ça repasse là*". Verbatim évidemment incompréhensible lorsque l'on a pas sous les yeux le dessin qu'il croquait en même temps, et que nous ne pouvons présenter que sous sa forme statique malheureusement :

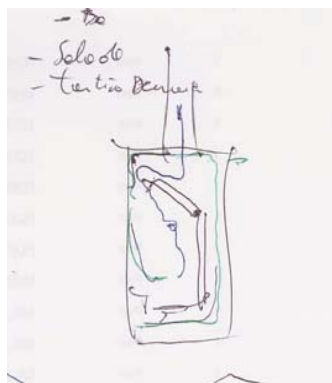


Fig 60 - l'oral et la dynamique de l'esquisse.

On voit bien ici l'intérêt de l'explication qui accompagne le croquis, ainsi que l'intérêt du trait de couleur qui accompagne le discours.

Partie IV - Conclusions, limites et perspectives

10. Les apports de la recherche - La compréhension ergonomique des métiers de la conception en design industriel

Nous avons tiré des développements précédents quelques conclusions, avec les moyens qui sont les nôtres et les limites offertes par un projet de recherche tel que celui-ci. Ces conclusions ont été clairement soulignées au fil du texte, et nous nous contentons ici de résumer ce qui nous semble constituer les apports principaux à la compréhension ergonomique des métiers de la conception, dans le milieu particulier du design industriel. Comme le souligne Leplat (2000) “les aspects techniques et organisationnels sont étroitement liés et c’est un objet de discussion qui est loin d’être clos de savoir comment ils se déterminent mutuellement”. Notre compréhension est en effet loin d’être achevée et ouvre de nombreuses perspectives de recherches qui seront présentées ensuite.

10.1. Extension et modulation des usages des outils médiateurs en design industriel

Nous avons construit progressivement notre schéma de pensée, l’approche exploratoire balayant le domaine du design au sens large, pour resserrer ensuite notre fenêtre d’étude au terrain industriel durant l’approche approfondie. L’approche exploratoire, dont les conclusions peuvent sembler moins ciblées sur la thématique de recherche, nous a malgré tout apporté d’intéressantes pistes pour la définition des hypothèses de travail, pour la sélection des profils et de la situation et pour de futures investigations.

L’approche des métiers de la conception, observés au travers des usages des outils médiateurs, nous a permis de dégager une vision plus “méta” au départ d’une situation locale. En partant de problématiques spécifiques à une entreprise, nous avons en effet fait état de la non-dichotomie des métiers, des utilisations des outils et des représentations; des modalités de la collaboration et de la re-spécification des outils comme facteurs influençant les conditions de travail des métiers de la conception en design industriel.

L’étude des usages des outils médiateurs, de leur extension et de leur modulation depuis l’arrivée de la CAO, de l’impact sur les pratiques “métier” a permis :

- d’élargir les frontières du domaine de la pré-conception telles que généralement présentées : y sont désormais incluses d’après nous, en plus des dessins à main levée, les représentations externes générées par les outils de CAO. Nous leur déclarons un potentiel de soutien aux phases conceptuelles du designer (tant sur un plan formel que technique). Elles peuvent faire partie intégrante des “esquisses” qui apparaissent en bouclage intermédiaire durant tout le processus, chaque outil offrant respectivement des apports différents, utiles en fonction des objectifs poursuivis. Mais avant d’être totalement efficaces, les outils de CAO doivent encore faire l’objet de recherches approfondies de manière à extraire des catachrèses, genèses instrumentales et schèmes d’utilisation l’essence de spécifications qui les rendront tout à fait adaptés.
- de moduler les niveaux de compréhension des métiers de la conception en design industriel, en soulignant l’importante part de co-conception et de “conception en cohabitation” qui apparaît avec le nouveau métier de dessinateur et l’usage des outils médiateurs.

Nous retiendrons également les apports suivants :

- différents graphes d'activités, d'utilisation des outils médiateurs et de fonctionnement collaboratif ont été proposés. Ils constituent une modélisation, simplifiée par définition mais solide, base pour l'ensemble de l'étude;
- l'étude du caractère complémentaire, redondant et multi-modal de l'utilisation conjointe des outils médiateurs : ils ne sont plus mis en confrontation, on étudie plutôt les potentialités que leur co-construction promet dans le soutien des opérateurs à l'atteinte de leurs objectifs;
- de même on a présenté le caractère complémentaire et évolutif des fonctions et modèles sous-jacents des représentations externes générées;
- les influences diverses des modalités de collaboration et caractéristiques des contextes sur les outils médiateurs ont été présentés, de même que l'impact de ces outils sur les tâches de conception;
- les principes de sélection des outils médiateurs, enfin, ont été esquissés, et sont fonction des objectifs poursuivis et/ou des métiers avec lesquels l'opérateur doit collaborer.

10.2.La réponse à la demande initiale dès les phases de la pré-conception

La demande initiale de l'entreprise n'a pas été étudiée dans une optique d'intervention professionnelle. Pourtant les apports plus conceptuels de notre recherche nous aident à comprendre dans quelle mesure l'amélioration des conditions de travail en conception industrielle pourrait concourir à l'atteinte d'objectifs ergonomiques pour les autres métiers et les utilisateurs. Ces améliorations se déclinent selon nous (i) en une conception préliminaire plus efficace, traitant plus tôt les noeuds technologiques et évitant quelques allers/retours inutiles (diminution du temps de production et des coûts, augmentation du rendement de l'entreprise); (ii) en des modalités collaboratives et répartitions des tâches mieux définies qui rendent les processus plus efficaces et (iii) en une conception intégrant dès les phases amont, avec l'aide d'experts-conseil, des considérations de montage et mise en production facilitant les tâches des ouvriers.

Ces améliorations se concrétisent grâce à diverses propositions, qui peuvent constituer un canevas préliminaire pour une seconde étude ergonomique :

- veiller à éviter les situations de co-activité en conception, avec les sous-traitants notamment;
- faciliter la construction d'un "design rationale", la conservation de la logique de conception étant reconnue comme un aspect primordial de l'implémentation des connaissances en entreprise (Cahour, 2002);
- favoriser les processus de synchronisation cognitive pour une construction plus efficace du référentiel commun et des connaissances. Proposer par exemple aux dessinateurs de mettre en commun leurs méthodes de programmation de la modélisation;
- recentrer chacun sur ses tâches, comme cela a déjà été pressenti dans l'entreprise, tout en ré-équilibrant la hiérarchie. Cela permettra de laisser plus de temps à la conception préliminaire, qu'elle soit outillée par le dessin ou la CAO.

Nous proposons ensuite un graphe d'activité global, pour une collaboration plus efficace, qui reprend à la fois (i) la modalité d'externalisation; (ii) un graphe d'activité simplifié; (iii) les relations collaboratives et (iv) une répartition temporelle "efficace" :

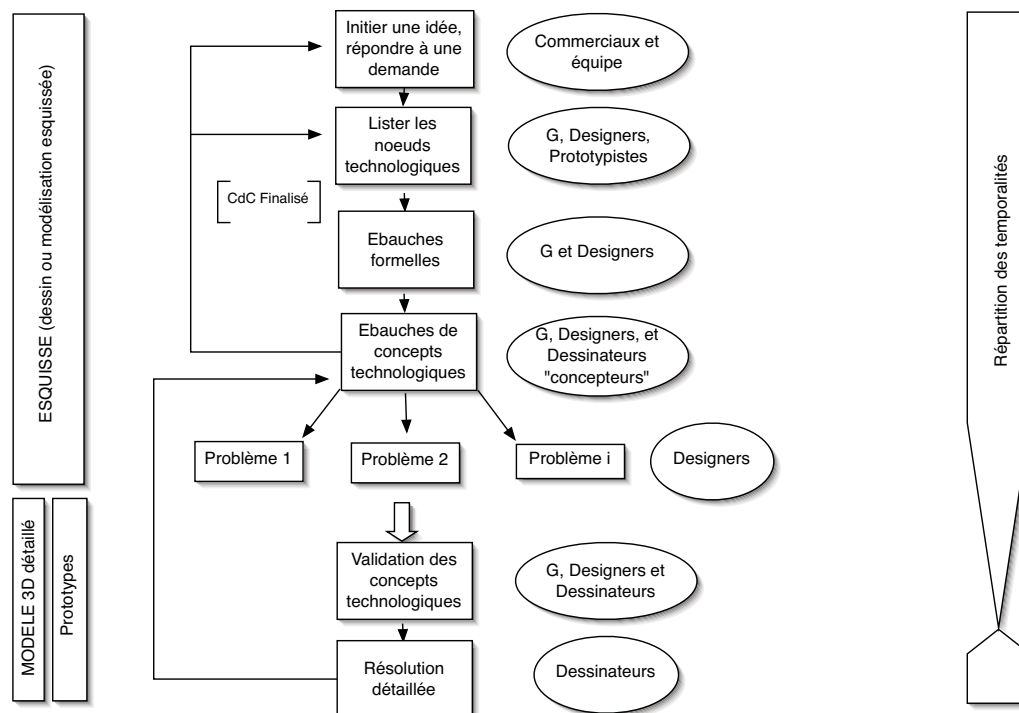


Fig 61 - Graphe d'activité et collaboratif proposé.

Ce graphe d'activité propose, pour chaque étape "clé" du processus de conception, un rassemblement d'opérateurs pour une séance de conception collaborative construite sur les méthodes participatives par exemple. Certains acteurs de la conception, apparaissant habituellement plus tard dans le processus (comme le prototypiste) sont convoqués bien plus tôt pour une définition conjointe des noeuds technologiques. Nous conseillons que l'étude de ces noeuds deviennent une part majeure du travail de l'équipe au travers d'ébauches et "d'esquisses" de principes, et que les modèles détaillés et prototypes, très consommateurs en temps, arrivent plus tard s'il s'avèrent nécessaires.

Le rassemblement en équipes de conception plus en amont dans le processus permet de définir plus clairement les tâches et champs de compétences de chacun, avec l'accord de tous, et d'opérationnaliser les échanges.

11. Limites

En terme de **méthodologie d'intervention ergonomique** notre étude a bien évidemment souffert de ne pouvoir suivre un processus de conception dans son entièreté. Ceci est impossible étant donné les contraintes temporelles inhérentes à une telle recherche. Nous pensons cependant que le suivi de plusieurs projets, balayant divers états d'avancement, a construit une vision relativement complète du métier de concepteur.

Par ailleurs, on peut regretter le fait que les designers rencontrés soient pratiquement tous issus de la même formation. Bien que, comme cela a été argumenté plus haut, cette situation nous ait permis d'annuler une variable, il nous faut cependant considérer qu'une limitation de généralisation est de ce fait créée. Le caractère spécifique de la population peut également se traduire par leur degré de motivation : en répondant positivement à notre demande, ils témoignent d'un intérêt aux questions posées qui a pu biaiser les données récoltées.

La difficulté de généralisation apparaît également au travers du domaine du design industriel observé, soit la conception des corps de chauffe. Ce domaine influence les outils médiateurs disponibles (le recours au prototype n'est pas systématique par exemple) mais aussi les processus de conception par le rapport entretenu au corps humain (on ne prend pas en main un poêle, on ne rentre pas dedans).

Le temps nous a manqué sur le terrain, et nous a empêché de faire de l'auto-confrontation. De même, des retours des opérateurs sur les conclusions ou de simples validations des données auraient été très riches.

Enfin, des choix effectués dans l'impatience de la recherche peuvent être discutés. Par exemple les méthodes de retranscription ou encore la volonté d'effectuer les entretiens dans l'open space : l'écran s'avère utile dans la construction de l'analyse rétrospective mais peut distraire l'opérateur de son discours; l'opérateur peut également ressentir une gêne vis-à-vis de ses collègues et s'empêcher quelques commentaires.

12. Perspectives

12.1. Pour la recherche en ergonomie

Les perspectives pour la recherche en ergonomie sont nombreuses:

- perspectives en terme de formation : une meilleure compréhension des métiers de la conception permet une définition plus claire des formations éventuellement nécessitées. Celles-ci devraient se construire sur base des graphes d'activité des différents opérateurs et leurs schèmes d'utilisation des outils médiateurs;
- interventions ergonomiques pour les métiers de la conception et intervention ergonomique de conception: les méthodologies d'intervention peuvent également découler d'études plus approfondies des questions abordées ici;
- étude des différents profils et de l'éventuel "lissage" des habitudes métiers qui se feront avec l'évolution des pratiques et des degrés d'expertise en manipulation CAO. Une étude transversale de différents niveaux d'expertise et d'ancienneté serait alors nécessaire.

On observe de plus qu'un parallèle peut être tiré entre le design et l'ergonomie. Le designer industriel, répondant à la demande d'une clientèle, doit en effet re-situer et ré-interpréter cette demande dans un contexte plus large, faire entendre ses arguments et "vendre" son produit, dans un objectif de satisfaction de l'utilisateur final et d'amélioration de ses conditions de vie. Une comparaison des métiers de la conception et de l'intervention ergonomique pourrait constituer un vivier d'étonnants résultats.

12.2. Pour la suite des travaux de recherche (courte présentation de la thèse entamée)

Les recherches effectuées s'insèrent dans le cadre plus large d'une thèse de doctorat en ingénierie architecturale et sciences appliquées, entamée il y a un peu moins de deux ans. Cette thèse questionne les potentialités de la Conception Assistée par Ordinateur comme soutien des phases amont de la conception en design industriel. Elle a pour objectif la mise au point de spécifications pour une interface homme-machine "absente" (Juchmes et Leclercq, 2001), centrée utilisateur, support de la métaphore multimodale et interprétative de "l'esquisse augmentée". C'est naturellement que le laboratoire d'accueil LUCID-ULg (Université de Liège), avec son caractère multi-disciplinaire (il rassemble psychologues ergonomes, licenciés en informatique, en commerce, infographistes et ingénieurs architectes) a guidé la recherche fondamentale vers une approche plus anthropocentrée. L'apprentissage au CNAM, pendant 6 mois, des pratiques et théories de l'ergonomie a permis "d'approfondir et d'allonger" les connaissances du métier cible, le design

industriel, de faire remonter d'une expérience en entreprise les variants et invariants d'une situation qui contribueront, nous l'espérons, à l'innovation de demain.

Les résultats rassemblés seront donc approfondis à divers niveaux.

Dans un futur proche sont planifiés :

- un jour de retour d'expérience dans l'entreprise examinée. Nous présenterons les résultats de notre recherche, particulièrement les réponses qui peuvent être apportées à la demande initiale. Nous pourrions ainsi confronter nos données aux avis des opérateurs. Un dossier retraçant l'intervention ergonomique sera proposé à l'équipe.
- une seconde intervention dans une autre entreprise de design de produits électro-mécaniques pour le soin du corps (sèche-cheveux, épilateurs, ...) nous fournira un autre point de vue de la conception et un autre rapport à l'homme et aux consommateurs.

Dans un futur plus éloigné on prévoit :

- l'élargissement de l'étude des phases de pré-conception : observation des contenus et fonctions du dessin également dans les phases plus avancées de la production;
- la sélection d'une "zone" d'action pertinente pour les outils développés au LUCID-ULg;
- et la définition de spécifications pour un outil de soutien à la conception préliminaire basé sur les réalités professionnelles du design industriel : respect des schèmes d'utilisation des instruments, des méthodes de travail et des modalités de collaboration.

RESUME

L'observation via une approche ergonomique compréhensive de l'extension et la modulation de l'utilisation des outils médiateurs en design industriel depuis l'avènement de la CAO nous a permis :

- d'élargir les frontières du domaine de la pré-conception telles que généralement présentées : y sont désormais incluses, en plus des dessins à main levée, les représentations externes générées par les outils de CAO, dont le potentiel de soutien aux phases conceptuelles sera révélé lorsque l'on aura extrait des catachrèses, genèses instrumentales et schèmes d'utilisation l'essence de spécifications qui les rendront tout à fait adaptées;
- de moduler les niveaux de compréhension des métiers de la conception en design industriel, en soulignant l'importante part de co-conception et de "conception en cohabitation" qui apparaît avec le nouveau métier de dessinateur et l'usage des outils médiateurs.

L'intervention sur le terrain est nourrie de ces apports plus conceptuels qui nous aident à comprendre dans quelle mesure l'amélioration des conditions de travail en conception industrielle pourrait concourir à l'atteinte d'objectifs ergonomiques pour les autres métiers et les utilisateurs finaux.

REFERENCES.

Ouvrages imprimés.

- (Bonnardel, 2006)** Bonnardel, N. (2006). *Créativité et conception - Approches cognitives et ergonomiques*. Collection Psychologies; Théories, méthodes, pratiques. Solal Eds.
- (Cross, 1984)** Cross, N. (1984). *Developments in design methodology*. Eds John Wiley & Sons
- (Cross, 2000)** Cross, N. (2000). *Strategies for Product Design, Third Edition*. The open University, Milton Keynes, UK, Ed. Wiley.
- (Hutchins, 1995)** Hutchins, E. (1995). *Cognition in the Wild*. Cambridge, MIT Press.
- (Lebahar, 1983)** Lebahar, JC. (1983). *Le dessin d'architecte*. Marseille : Eds Parenthèses.
- (Lebahar, 2007)** Lebahar, JC. (2007). *La conception en design industriel et en architecture : Désir, pertinence, coopération et cognition*. Eds. Lavoisier.
- (Leplat, 2000)** Leplat, J. (2000). *Analyse psychologique de l'activité en ergonomie - Aperçu sur son évolution, ses modèles et ses méthodes*. Eds Octarès; coll. travail et activité humaine.
- (Norman, 1993)** Norman, D. A. (1993). *The design of everyday things*. New York : Basic Books (Perseus).
- (Quarante, 2001)** Quarante, D. (2001). *Elements de design industriel. Troisième édition*. France, Ed. Polytechnica.
- (Rabardel, 1995)** Rabardel, P. (1995). *Les hommes et les technologies, approche cognitive des instruments contemporains*. Paris : Armand Colin. En ligne : <http://ergoserv.psy.univ-paris8.fr/>.
- (Samuel & Weir, 1999)** Samuel, A. & Weir, J. (1999). *Introduction to engineering design. Modelling, Synthesis and Problem Solving Strategies*. UK, Ed. Butterworth Heinemann.
- (Schön, 1983)** Schön, DA. (1983). *The reflective practitioner : how professionals think in action*. New-york, Basic Books.
- (Visser, 2006)** Visser, W. (2006). *The cognitive Artifacts of designing*. London, Ed. Lawrence Erlbaum.

Chapitres d'ouvrages.

- (Darses, Détienne et Visser, 2004)** Darses, F.; Détienne, F. & Visser, W. (2004). Les activités de conception et leur assistance, In Falzon P., *Ergonomie*, PUF, pp545-563.
- (Darses & al, 2004)** Darses, F.; Falzon, P. & Mondutéguy, C. (2004). Paradigmes et modèles pour l'analyse cognitive. In Falzon P., *Ergonomie*, PUF, pp 191-212.
- (Dejean & Naël, 2004)** Dejean, PH & Naël M. (2004). Ergonomie du produit. In Falzon, P., *Ergonomie*, PUF, pp 463-477.
- (Folcher & Rabardel, 2004)** Folcher, V & Rabardel, P. (2004). Hommes-Artefacts-Activités : perspective instrumentale. In Falzon P., "*Ergonomie*", PUF, pp 251-268.
- (de Terssac et Chabaud, 1990)** de Terssac, G. & Chabaud, C. (1990). Référentiel opératif commun. In J. Leplat et G. de Terssac (Eds), *Les facteurs humains de la fiabilité*, Marseille, Octarès, pp 111-139.

Articles de périodiques imprimés.

- (Barthe et Quéinnec, 1999)** Barthe, B. & Quéinnec, Y. (1999). *Terminologie et perspectives d'analyse du travail collectif en ergonomie - L'année psychologique*, année 1999, vol 99, n° 4, pp 663-686.
- (Béguin, 1996)** Béguin, P. (1996). *De la complexité du problème à la complexité entre les individus dans les nouvelles stratégies de conception - Actes du colloque de l'école d'architecture de Marseille-Lunigny*.
- (Béguin et Rabardel, 2000)** Béguin, P. & Rabardel, P. (2000). *Concevoir pour les activités instrumentées - La revue d'intelligence artificielle*, 14/2000, pp 35-54.
- (Béguin, Rabardel et Trotta, 1992)** Béguin P.; Rabardel P & Trotta, J. (1992). *Aspects collaboratifs du travail avec la CAO : intégration et coordination, deux caractéristiques de l'activité de conception en ingénierie industrielle - Actes du 27ème congrès de la SELF*, 1992.
- (Bilda & Gero, 2005)** Bilda, Z. & Gero, J. (2005). *Does sketching off-load visuo-spatial working memory ? - Studying Designers '05*. J.S. Gero & N. Bonnardel Eds, Key Centre of Design Computing and Cognition, Univeristy of Sydney, Australia.
- (Bilda & Gero, 2006)** Bilda, Z. & Gero, J. (2006). *Do we need CAD during Conceptual Design ? - CAAD Futures*.
- (Brassac et Grégori, 2003)** Brassac, C. & Grégori, N. (2003). *Etude clinique d'une activité collaborative : la conception d'un artefact - Le travail Humain*, 2003/2, Vol 66, PUF, pp 101-126.
- (Caelen, 2009)** Caelen J. (2009). *Conception Participative par "moments" : une gestion collaborative - Le travail Humain*, 2009/1, Vol 72, pp. 79-103.
- (Cahour, 2002)** Cahour, B. (2002). *Décalages socio-cognitifs en réunions de conception participative - Le travail humain*, 2002/4, Vol 65, PUF, pp 315-337
- (Candy 1997)** Candy, L. (1997). *Computers and creativity support : knowledge, visualisation and collaboration - Knowledge-Based Systems*, Vol. 10, pp. 3-13.
- (Casella & al, 2006)** Casella G; Costagliola G; Deufemia V; Martelli M & Mascardi V. (2006). *An Agent-Based Framework for Context-Driven Interpretation of Symbols in Diagrammatic Sketches - Visual Languages and Human-Centric Computing 2006*, pp 73-80.
- (Darses, 2009)** Darses, F. (2009). *Résolution collective des problèmes de conception - Synthèse - Le travail Humain*, vol 72, n°1, pp 43-59.
- (Darses, Détienne et Visser, 2001)** Darses, F.; Détienne, F. & Visser, W. (2001). *Assister la conception : perspectives pour la psychologie cognitive ergonomique - Epique 2001*.
- (Decortis & al, 2000)** Decortis, F. Noirfalise, S. & Saudelli, B. (2000). *Activity theory, cognitive ergonomics and distributed cognition : three views of a transport company - International Journal Human-Computer Studies*, 2000, 53, pp 5-33.
- (Détienne & Burkhardt, 2001)** Détienne, F. & Burkhardt, JM. (2001). *Des aspects d'ergonomie cognitive dans la réutilisation en génie logiciel - Revues techniques et sciences informatiques*, 20, pp 461-487
- (Falzon et Teiger, 1995)** Falzon, P. & Teiger, C. (1995). *Construire l'activité - Performances Humaines et Techniques*.
- (Folcher, 2003)** Folcher, V. (2003). *Appropriating artifacts as instruments : when design-for-use meets design-in-use - Interacting with Computers*, 15, 647-663.

- (Garrigou & al, 1995)** Garrigou, A.; Daniellou, F.; Carballeda, G. & Ruaud, S. (1995). *Activity analysis in participatory design and analysis of participatory design activity - International Journal of Industrial Ergonomics*, 15 pp 311-327.
- (Gross, 1996)** Gross, MD. (1996). *The Electronic Cocktail Napkin - a computational environment for working with design diagrams* - Eds. Elsevier.
- (Grusenmeyer, 1995)** Grusenmeyer, C. (1995). *Interaction langagière et représentation mentale partagée. Une étude de la relève de poste - Psychologie française*, vol 40 n°1 pp 47-59.
- (Howard & al, 2007)** Howard, TJ.; Culley, SJ. & Dekoninck, E. (2007) *Creativity in the engineering design process - 16th International Conference on Engineering Design, ICED 07*, Paris.
- (Howard & al, 2008)** Howard, TJ.; Culley, SJ. & Dekoninck, E. (2008). *Describing the creative design process by the integration of engineering design and cognitive psychology literature - Design Studies*, 29, pp.160 - 180.
- (Igarashi & al, 2007)** Igarashi T.; Matsuoka S.; Tanak H. (2007). *Teddy : a sketching interface for 3D freeform design. - International Conference in Computer Graphics and Interactive Techniques - ACL SIGGRAPH 2007*, Eds ACM.
- (Juchmes et Leclercq, 2001)** Juchmes, R. & Leclercq, P. (2001). *Le concept d'interface absente en ingénierie de la conception - International Conference Nîmes - TIC'2001*, "Is the Man-Sysytem relation complex ?", Nîmes, France.
- (Leclercq & Juchmes, 2002)** Leclercq, P. & Juchmes, R. (2002). *The absent interface in design engineering - AIEDAM 2002*, vol 16 - pp 219-227, Cambridge University Press.
- (Leclercq, 2007)** Leclercq, P. (2007). *Le croquis synthé-numérique - SCAN' 07, Séminaire de Conception Architecturale Numérique*, Liège (Belgique).
- (Leplat, 1991)** Leplat, J. (1991). *Activité collective et nouvelles technologies - Revue Internationale de Psychologie Sociale*, 4, 3/4, pp 335-356.
- (Navarro, 1991)** Navarro, C. (1991). *Une analyse cognitive de l'interaction dans les activités de travail - Le travail Humain*, 54,2, pp 113-128.
- (Rabardel, 1995)** Rabardel, P. (1995). *Qu'est ce qu'un instrument ? appropriation, conceptualisation, mises en situation - Outils pour le calcul et le traçage des courbes, CNDP-DIE* - Mars.
- (Rabardel et Bourmaud, 2003)** Rabardel, P. & Bourmaud, G. (2003). *From computer to instrument system : a developmental perspective - Interacting with computers*, 15 (2003) 665-691
- (Roberston & Radcliffe, 2009)** Robertson, BF & Radcliffe, DF. (2009). *Impact of CAD tools on creative problem solving in engineering design - Computer-aided design*. Vol 41 issue 3, pp 136-146 Eds Elsevier.
- (Scaife & Rogers, 1996)** Scaife, M. & Rogers, Y. (1996). *External Cognition : how do graphical representations work ? - International Journal of Human-Computer Studies*, 45, pp 185-213.
- (Schön, 1992)** Schon, DA. & Wiggins, G. (1992). *Kinds of Seeing and Their Functions in Designing - Design Study*, Vol.13, No.2, pp.135-156.
- (Troussier, 1990)** Troussier, JF. (1990). *Evolution des collectifs du travail et qualification collective - Les Analyses du travail, CEREQ*, pp. 115-124.

(Vicente & Rasmussen, 1990) Vicente, KJ. & Rasmussen, J. (1990). *The Ecology of Human-Machine Systems II: Mediating 'Direct Perception' in Complex Work Domains - Ecological Psychology*, 1532-6969, Volume 2, Issue 3, pp 207 – 249.

(Vinck et Laureillard, 1996) Vinck, D. & Laureillard, P. (1996). *Coordination par les objets dans les processus de conception - "Représenter, coordonner, attribuer"*, *Journées CSI*.

(Visser, 2009) Visser, W. (2009). *La conception : de la résolution de problèmes à la construction de représentations - Le travail Humain*, PUF, 2009/1, vol 72, pp. 61 à 78.

(Visser & Trousse, 1993) Visser, W. & Trousse, B. (1993). *Reuse of designs : an interdisciplinary cognitive approach - Thirteenth international joint conference on artificial intelligence workshop*.

(Wolff & al, 2005) Wolff, M; Burkhardt, JM. & de la Garza, C. (2005). *Analyse exploratoire de "points de vue" : une contribution pour outiller les processus de conception - Le travail humain*, 2005/3, vol 68, PUF, pp 253-286.

(Zacklad & al, 2003) Zacklad, M.; Lewkowicz, M.; Boujut, J. F.; Darses, F., & Détienne, F. (2003). *Formes et gestion des annotations numériques collectives en ingénierie collaborative - Actes d'IC 03 R. Dieng (Ed), Laval, 1er-4 juillet, (pp.207-224), Grenoble : PUG*.

Rapports imprimés (publication scientifique).

(Darses, 2004) Darses, F. (2004). *Processus psychologiques de résolution collective des problèmes de conception : contribution de la psychologie ergonomique*. Document de synthèse en vue d'obtenir une Habilitation à Diriger des Recherches. Université Paris V - René Descartes.

Rapports imprimés (rapport de contrat).

(Darses, Détienne, Falzon & Visser, 2001) Darses, F.; Détienne, F.; Falzon, P. & Visser, W. (2001). *A method for Analysing Collective Design Process*. Rapport de recherche, Rocquencourt, France, INRIA.

Travaux universitaires.

(Bellès, 1994) Bellès, L. (1994). *Ne reviens pas m'voir dans cinq ans - Différentes approches de l'activité collective de conception*, Mémoire de DEA - Ergonomie au CNAM Conservatoire National des Arts et Métiers.

(Blessing, 1994) Blessing, LTM. (1994). *A process-based approach to computer-supported engineering design*, Doctoral dissertation, Universiteit Twente, Enschede. (the Netherlands).

(Bourmaud, 2006) Bourmaud, G. (2006). *Les systèmes d'instruments : méthodes d'analyse et perspectives de conception*. Thèse de Doctorat en Psychologie Ergonomique, Université Paris 8, St Denis, Dir. Pierre Rabardel.

(Darses, 1994) Darses, F. (1994). *Gestion de contraintes dans la résolution des problèmes de conception*. Thèse de doctorat. St denis, Université Paris 8.

Site Web

Edti : *edti european design training incubator Internet Surveys* sur www.edti.eu, septembre 2009.

Articles de périodiques électroniques.

(Béguin, 2007) Béguin, P. “Prendre en compte l’activité de travail pour concevoir”. *@ctivités* 4(2), pp. 107-114, <http://www.activites.org/>. Juin 2009.

(Caroly, 2007) Caroly, S. “Les mutations du travail face aux défis technologiques : quelles incidences sur la santé ?”. *Pistes*, Vol 9 n° 2 Octobre 2007. <http://www.pistes.uqam.ca/>. Juin 2009.

(Danesi & al,1999) Danesi, F.; Gardan, Y.; Martin, B. & Pecci I. “L’esquisse, définition et utilisation en conception 3D”, www-valoria.univ-ubs.fr. Juin 2009.